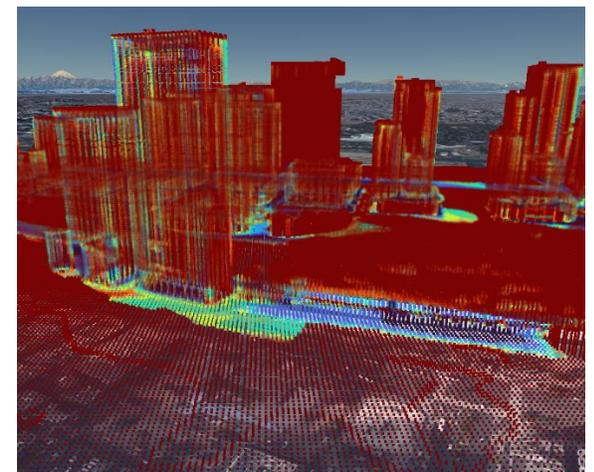
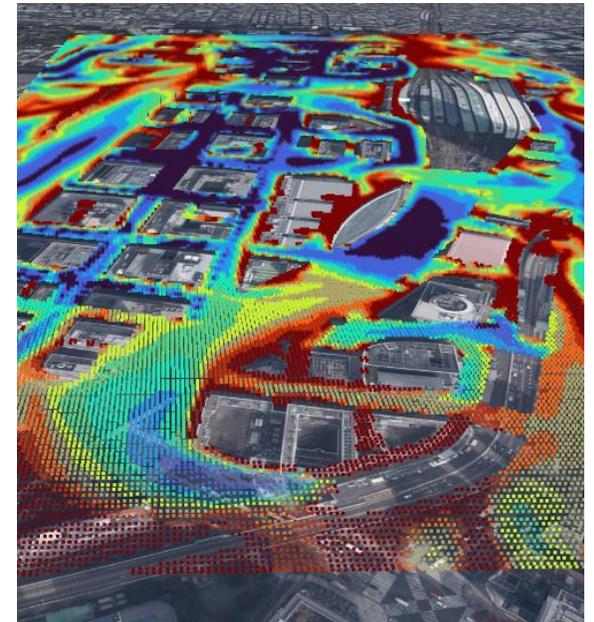
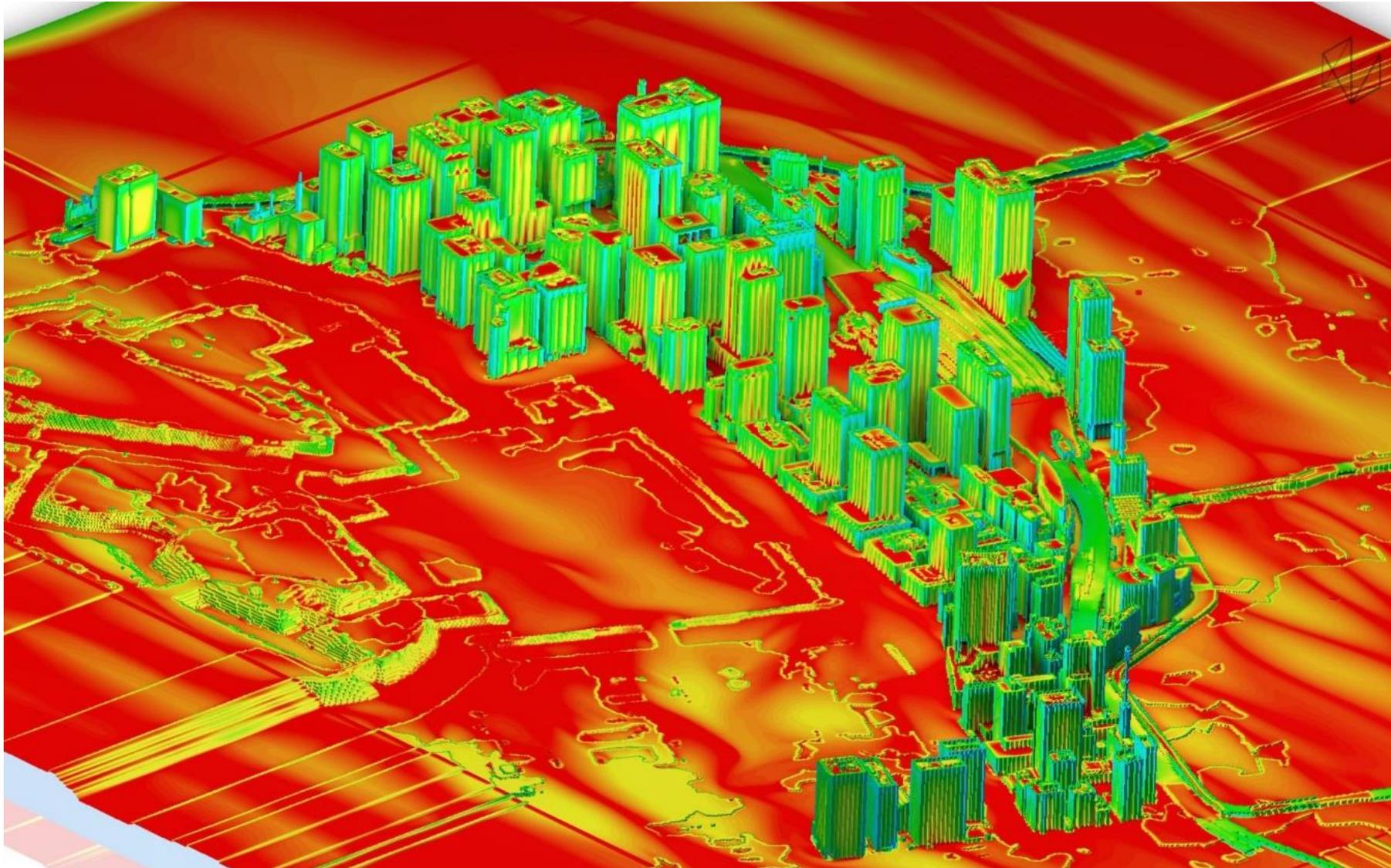


# ヒートアイランド・シミュレーション 技術検証レポート

Technical Report for HEAT ISLAND SIMULATION



PLATEAU  
by MLIT



# 目次

<b>I. 実証概要</b>	<b>2</b>		
1. 全体概要	3		
2. 実施体制	5		
3. 実証エリア	6		
4. スケジュール	7		
<b>II. 実証技術の概要</b>	<b>8</b>		
1. 活用技術	9		
2. scSTEAM	10		
3. FME desktop	11		
<b>III. 実証システム</b>	<b>12</b>		
1. 実証フロー	13		
2. 業務要件	14		
3. アーキテクチャ全体図	15		
4. システム機能	17		
5. アルゴリズム	26		
6. データ	29		
①活用データ	29		
②データ処理	40		
③出力データ	42		
		7. ユーザインタフェース	43
		8. システムテスト結果	44
		<b>IV. 実証技術の検証</b>	<b>45</b>
		1. システム検証	46
		① 検証内容	46
		② 検証結果	47
		2. 政策活用に向けた検証	58
		① 検証内容	58
		② 検証結果	59
		<b>V. 成果と課題</b>	<b>60</b>
		1. 今年度の実証で得られた成果	63
		① 3D都市モデルによる技術面での優位性	63
		② 3D都市モデルによる政策面での優位性	64
		2. 今後の取り組みに向けた課題	65
		<b>用語集</b>	<b>66</b>

# I. 実証概要

## II. 実証技術の概要

## III. 実証システム

## IV. 実証技術の検証

## V. 成果と課題

# I. 実証概要 > 1. 全体概要

## 全体概要 (1/2)

<b>ユースケース名</b>	ヒートアイランドシミュレーション
<b>実施場所</b>	東京都千代田区
<b>目標・課題 ・創出価値</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>・環境問題の一つであるヒートアイランド現象とは都心部の気温が郊外に比べて島状に高くなる都市の高温化現象であり、熱大気汚染とも呼ばれる。都市計画や都心の環境対策を検討する上でヒートアイランド現象の抑制は重要な課題である。</li><li>・ヒートアイランド対策としては、緑化や遮熱性舗装などが想定され、有効な対策の検討には、その効果を事前に検証するシミュレーションが必要となる。しかし、実際の建築、都市環境を精度高く再現するためには、建物形状とともに、排熱の設定に必要な建物用途などの属性情報の作成にコストと時間を要することが課題となる。</li><li>・3D都市モデルのデータを活用することでシミュレーションに要するコストと時間を削減するとともに、ヒートアイランド対策の効果を3次元で分かりやすく可視化し、対策の促進につなげる。</li></ul>
<b>ユースケース の概要</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>・千代田区の手町・丸の内・有楽町地区において、3D都市モデルの建物形状、属性情報を活用し、汎用熱流体解析ソフトウェアscSTREAMによって、ヒートアイランド対策による気温や建物表面温度の低減効果をシミュレーションし、3次元で可視化する。</li><li>・分析結果を千代田区のヒートアイランド対策計画見直し検討部会に示し、今後のまちづくり及びヒートアイランド対策検討の有効性について検証する。</li></ul>

# I. 実証概要 > 1. 全体概要

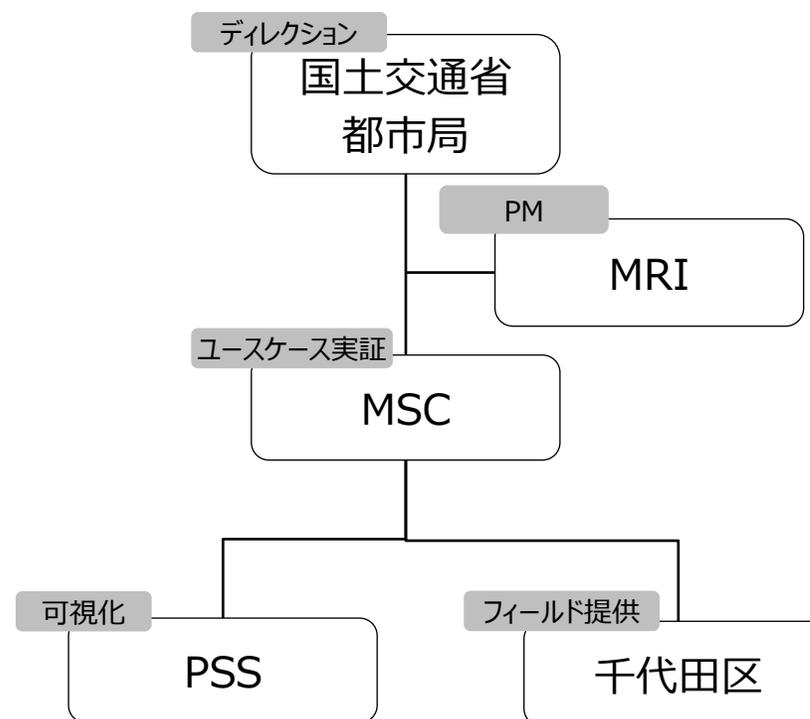
## 全体概要 (2/2)

<b>実証仮説</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>・3D都市モデルのデータを使用することにより、シミュレーションに必要な建物形状等の環境設定のコストおよび作業時間が削減可能となる。LOD2の詳細な形状、属性データを使用することにより、短時間でより高精度な結果を得ることができる。</li><li>・実際の街区を対象にシミュレーションを実施し、3次元で温度の変化を可視化することでヒートアイランド対策の効果を実感しやすくなる。</li></ul>
<b>検証ポイント</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>・シミュレーションの実行に必要なデータ取得から結果出力までに必要なコストおよび作業時間が削減できたか。</li><li>・ヒートアイランド対策有無のシミュレーション結果を3Dで可視化して比較することで、現状の理解、対策の必要性が判断しやすくなるか。</li></ul>

# I. 実証概要 > 2. 実施体制 実施体制

表 各主体の役割

主体	役割
エムエスシーソフトウェア株式会社 (MSC)	ヒートアイランドシミュレーション
千代田区	フィールド提供
Pacific Spatial Solutions株式会社 (PSS)	解析結果の可視化
株式会社三菱総合研究所 (MRI)	プロジェクトマネジメント (PM)



体制図

# I. 実証概要 > 3. 実証エリア 実証エリア

東京都千代田区大手町・丸の内・有楽町地区



実証エリア (LOD2整備範囲)  
1.22km<sup>2</sup>

出所) 国土地理院電子国土WEB地図をもとに作成

# I. 実証概要 > 4. スケジュール スケジュール

実施事項	令和4年										令和5年		
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1.実施計画・データ要件整理	→												
2.データ収集		→											
3.解析条件設定			→										
4.解析実行(プロトタイプ)				→									
5.解析実行(ヒートアイランド対策検証)					→								
6.結果検証/とりまとめ・報告								→					
7.成果の公開												→	

I. 実証概要

**II. 実証技術の概要**

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

## Ⅱ. 実証技術の概要 > 1. 活用技術 活用技術 | 一覧

活用技術	内容
scSTREAM	日射、風分布、放射熱、植栽効果などを考慮した熱流体解析シミュレーションを可能とする汎用ソフトウェア。
FME Desktop	空間データ統合・変換ソフトウェア。本ソフトを活用してシミュレーション結果をPLATEAU VIEWに搭載可能な形式に変換。

# II. 実証技術の概要 > 2. scSTREAM

## scSTREAM

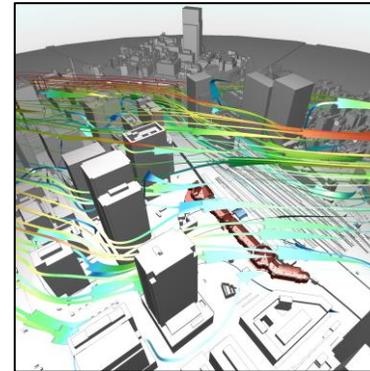
熱の移動による温度分布の変化や空気・熱の流れをコンピューターによりシミュレーションする熱流体解析（CFD：Computational Fluid Dynamics）の汎用ソフトウェア。

### 概要

### 特徴

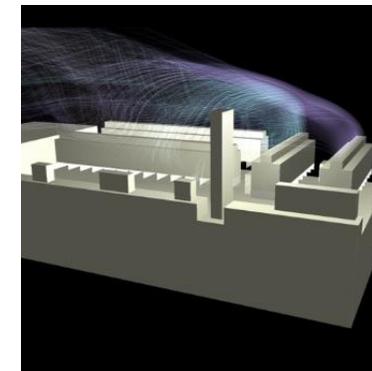
項目	内容
名称	scSTREAM
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存のパッケージソフトウェアであり、30年以上の実績を誇る汎用流体解析プログラムで圧倒的な使い易さと高速演算が特徴</li> </ul>
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>日射(日陰の考慮が可能)、放射、植栽効果などを考慮したシミュレーション技術               <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 入力：形状データ(OBJファイル想定)、日射条件、風速条件</li> <li>➢ 出力：各種物理量(表面温度、圧力等)分布図、流速ベクトル図、静止画像、各種物理量数値データ</li> </ul> </li> </ul>
利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱流体解析機能</li> </ul>

#### 風環境評価



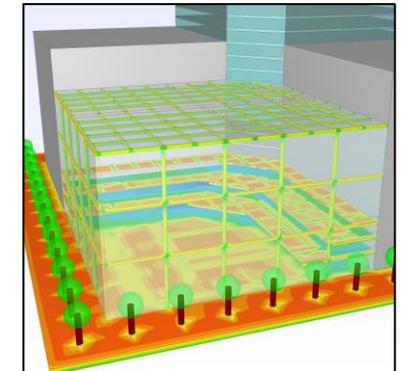
鉛直方向の風分布も考慮した外風条件による解析が可能。広範な領域における流れの状況を可視化することができる。

#### 排熱・排煙



産業用建造物などからの排熱を考慮した解析が可能。排熱に依る周囲環境への昇温効果、温度上昇による気流の変化などを可視化できる。

#### 日射負荷・植栽



日射による発熱を考慮した解析が可能。植栽を模擬するモデルも有しており、植栽に依る流れの抵抗も表現することができる。

# II. 実証技術の概要 > 3. FME desktop

## FME desktop

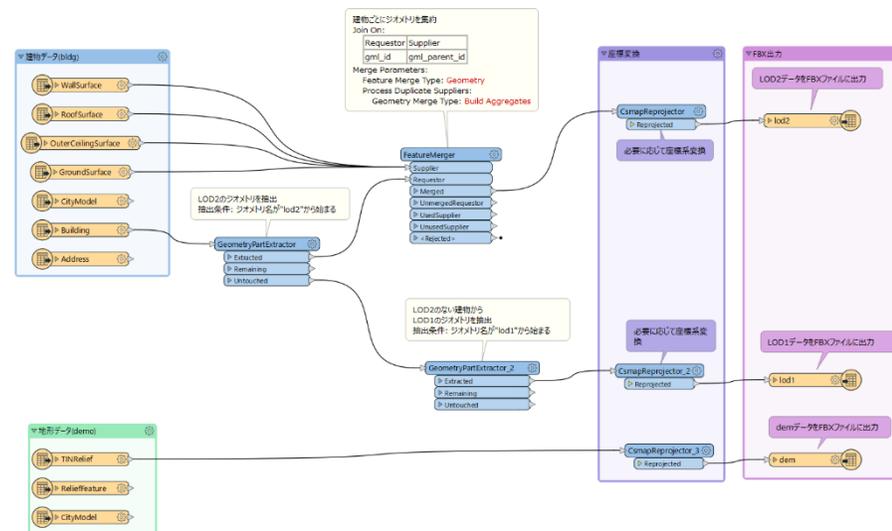
GIS、CAD、ラスター、LIDAR、3Dデータ、BIMデータ、テキストデータなどのビッグデータを統合し、データ形式の変換を行えるソフトウェア。

### 概要

項目	内容
名称	FME desktop
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>データの統合、変換処理機能を有するソフトウェア。GIS業界や建築業界で幅広く利用されている。</li> <li>商用利用にはライセンス購入が必要。</li> </ul>
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>データの入力、変換、出力を担うモジュールを提供しており、これらのモジュールを繋ぎ合わせるだけでデータ変換処理を行うことが可能</li> </ul>
利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>データ変換機能</li> </ul>

### 特徴

データの統合変換を行うため、下図のようにモジュールをつないで変換処理のフローを作成（ワークベンチと呼ぶ）する。



### ワークベンチの例

出所) 国土交通省PLATEAU HP (<https://www.mlit.go.jp/plateau/learning/tpc04-1/>)

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

**III. 実証システム**

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

## Ⅲ. 実証システム > 1. 実証フロー

# 実証フロー

3次元空間を再現し、環境条件を設定の上、熱流体解析を実施。ヒートアイランド対策の効果を3D都市モデル上で可視化し、シミュレーションの効率化、政策活用への有用性について、有識者の意見を伺い検証する。

インポート

- 3D都市モデルデータ(OBJ形式)のシミュレーションソフトへの読み込み

条件設定・物性値入力

- 風、建物排熱、日射条件等の条件設定
- 建物や地面、道路等の物性値（熱吸収）の設定

シミュレーション

- 熱流体解析によるヒートアイランドシミュレーションを実行する。

結果出力

- シミュレーション結果を出力し、PLATEAU VIEW上で可視化する。

結果検証

- シミュレーション結果について、千代田区ヒートアイランド対策計画見直し検討部会で意見を伺う。

## Ⅲ. 実証システム > 2. 業務要件

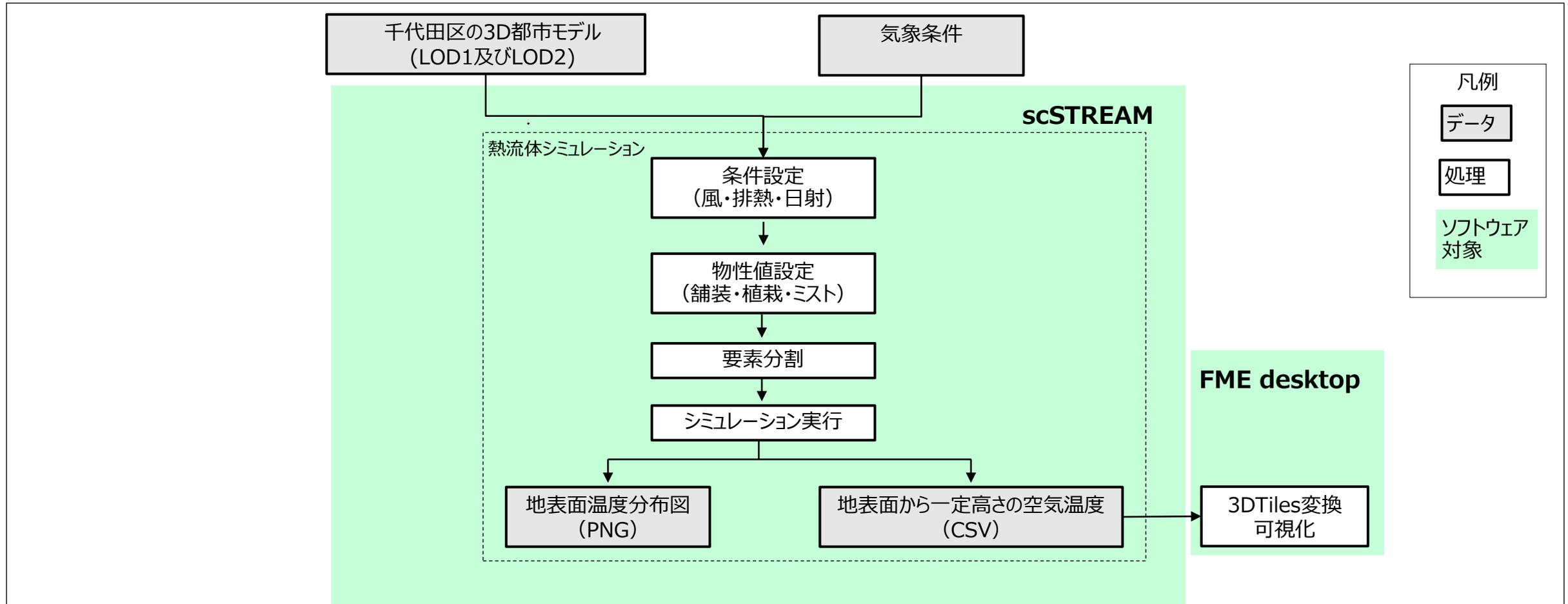
# 業務要件

行政がヒートアイランド対策を検討する際の実施項目として想定される項目を示す。シミュレーションの成果は、対策の比較検討、実施にあたっての合意形成に用いることが想定される。

実施項目	実施事項概要
対象地域の現状把握	ヒートアイランド現象が懸念される地域において、気象条件、建物や舗装、植栽の現状、将来の開発計画等を踏まえ、真夏にどの程度のヒートアイランド現象が生じているかを把握
想定される対策の検討	緑化、保水性・遮熱性舗装、ドライミストなど、ヒートアイランド対策として考えられる施策とその効果について検討
ヒートアイランド対策	対象地域において複数案のヒートアイランド対策の効果をシミュレーションで算出
施策合意形成	シミュレーション結果を可視化して提示し、行政による施策や個別開発・インフラ整備と合わせた対策などの実施に向けた関係者の合意形成に活用
対策実施	合意形成結果に基づき、行政・民間の実施主体がヒートアイランド対策を実施

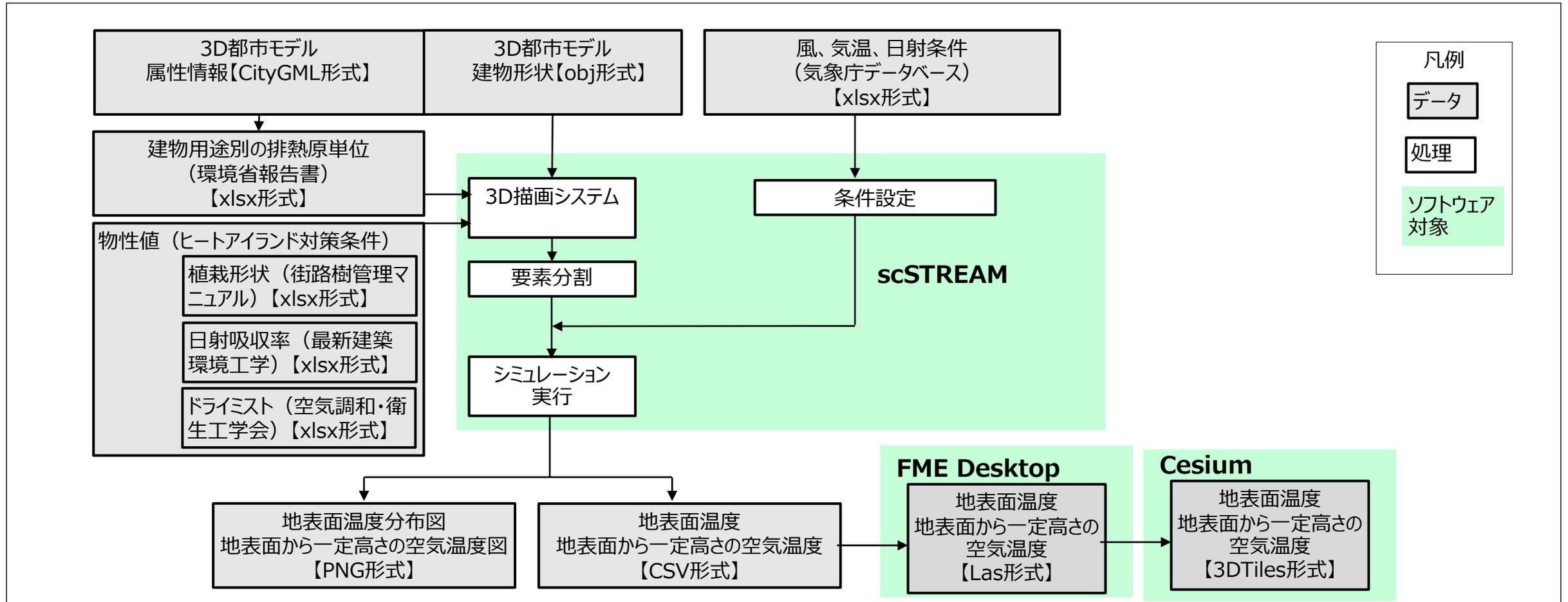
# Ⅲ. 実証システム > 3. アーキテクチャ全体図

## システムアーキテクチャ全体図



# Ⅲ. 実証システム > 3. アーキテクチャ全体図

## データアーキテクチャ全体図



# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

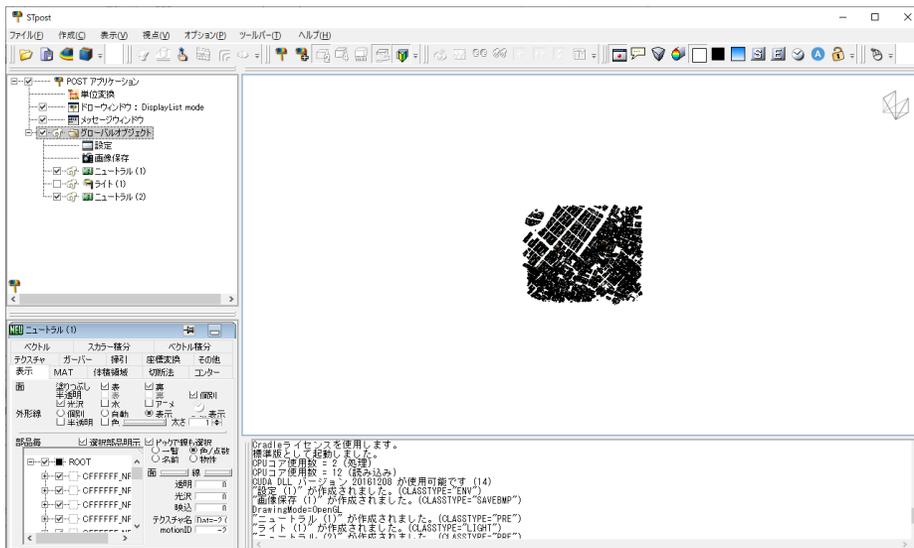
## システム機能

項目	内容
形状データ読み込み	3D都市モデル(OBJ形式)のデータ読み込みを行う。
要素分割	解析実行のための要素分割を行う。
シミュレーション実行・結果出力	気象条件、排熱条件、物性値の条件設定を行い、解析を実行する。解析結果として、表面温度等の画像、CSVデータを出力する。
可視化	出力したCSVを3D Tilesに変換して、PLATEAU VIEW上で表示する。

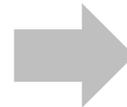
# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能 形状データ読み込み

シミュレーション対象となる地域（大手町・丸の内・有楽町地区）の建物形状について、3D都市モデル(OBJ形式)のデータを熱流体解析ソフトscSTREAMで読み込み、ポリゴンで立体空間を表現するstlファイル形式に変換してシミュレーションを実施する。

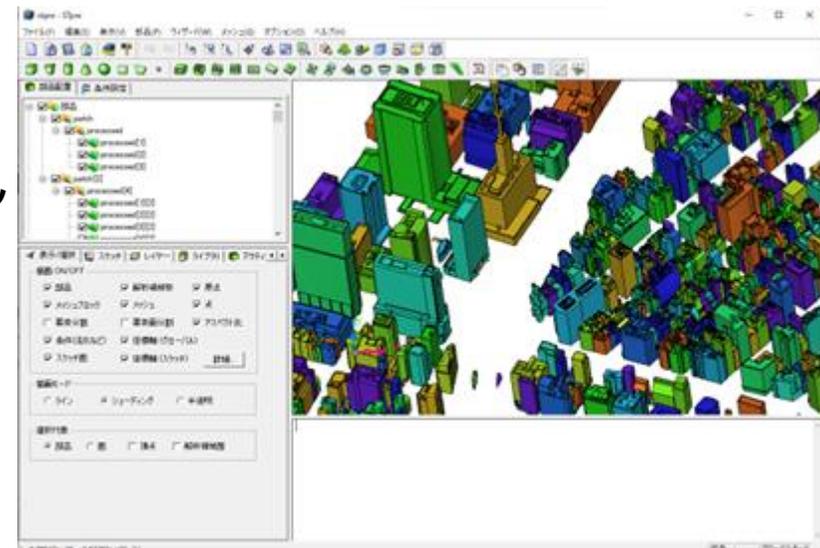
Objファイルをソフト（scSTREAM）でstlファイルに変換



stlファイルを書き出し



stlファイルを読み込んでシミュレーション実施

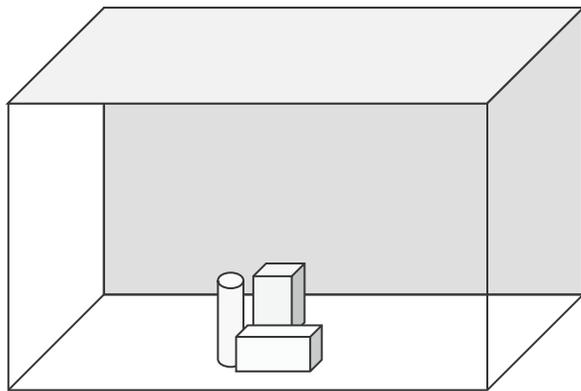


3D都市モデルの建物形状の活用（objファイルのstlファイルへの変換）

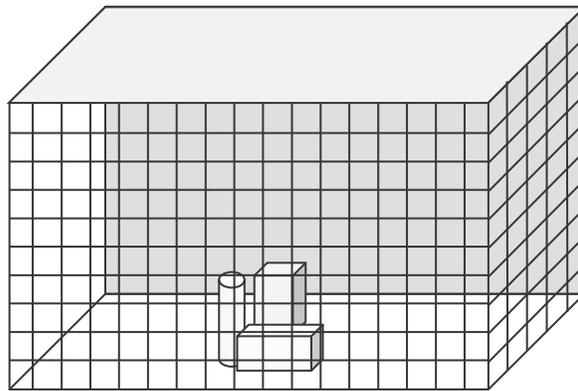
# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能 要素分割

読み込んだ3次元空間データを熱流体解析を行うため、要素分割する。本ソフトウェアでは、3mメッシュで分割し、メッシュ単位で熱とその流れのシミュレーションを行い、可視化する。

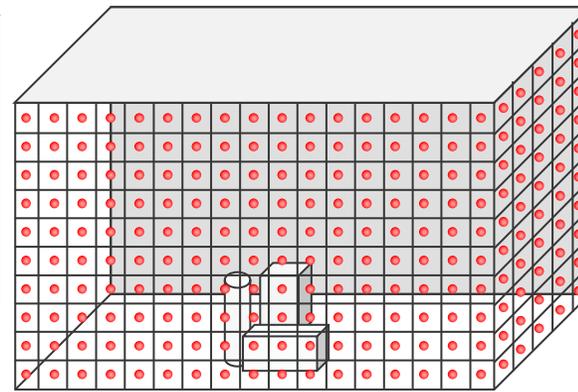
## 要素分割の概念図



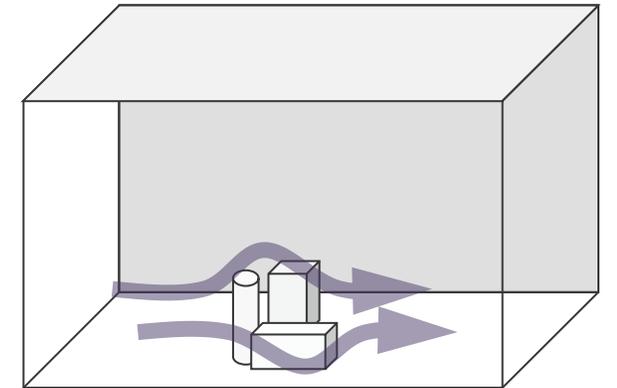
解析対象の形状作成と条件設定



空間を要素に分割 (メッシュ)



要素ごとの値を計算



数値データの可視化

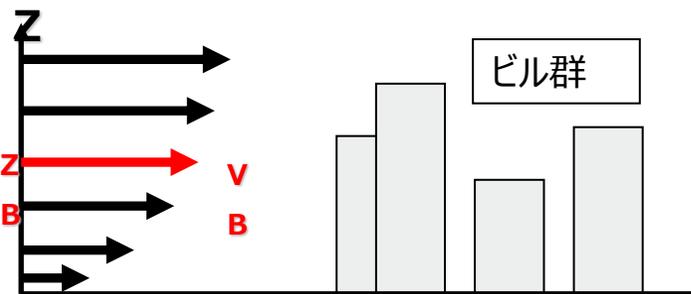
# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能 シミュレーション実行・結果出力

## 風環境の設定

市街地に流入する風は鉛直方向にべき乗則で表される分布を持つ。ビル風等の計算に、“市街地風環境予測のための数値流体解析ガイドブック”(日本建築学会)に従った流速分布、乱流分布を指定する。

設定項目

入力画面



流速

$$V = V_B \left( \frac{Z - Z_0}{Z_B - Z_0} \right)^{\frac{1}{n}}$$

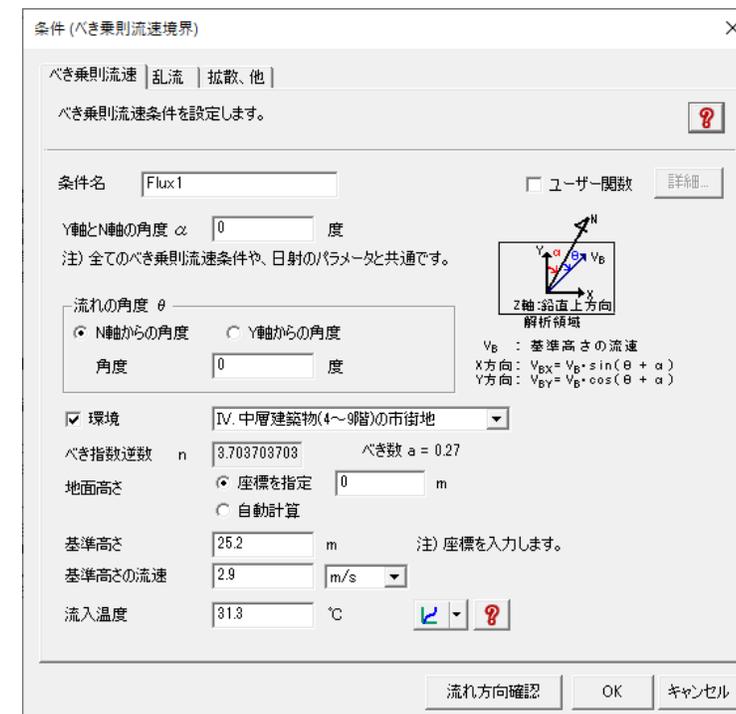
乱流エネルギー

$$k = (SV)^2, S = 0.1 \left( \frac{Z - Z_0}{Z_G} \right)^{\frac{1}{n} - 0.05}$$

乱流消失率

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{C_\mu} S^2 V^3}{n(Z - Z_0)}$$

- Z: 高さ[m]
- Z<sub>B</sub>: 基準高さ[m]
- Z<sub>G</sub>: 上空風高度[m]
- Z<sub>0</sub>: 地面の高さ[m]
- V<sub>B</sub>: 基準高さでの流速[m/s]
- V: 流速[m/s]
- k: 乱流エネルギー[m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]
- ε: 乱流消失率[m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>]
- S: 乱れ強さ[-]
- C<sub>μ</sub>: 乱流モデルのモデル定数[-]  
標準k-εモデルでは0.09
- n: べき数[-]



•参考文献 "市街地風環境予測のための流体数値解析ガイドブック"、建築学会、P.158.

# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能 シミュレーション実行・結果出力

## 風環境の設定

対象地域の環境に応じた粗度区分により設定されるべき数、基準高さとその高さでの風速を気象データから設定し、シミュレーションを実行する。

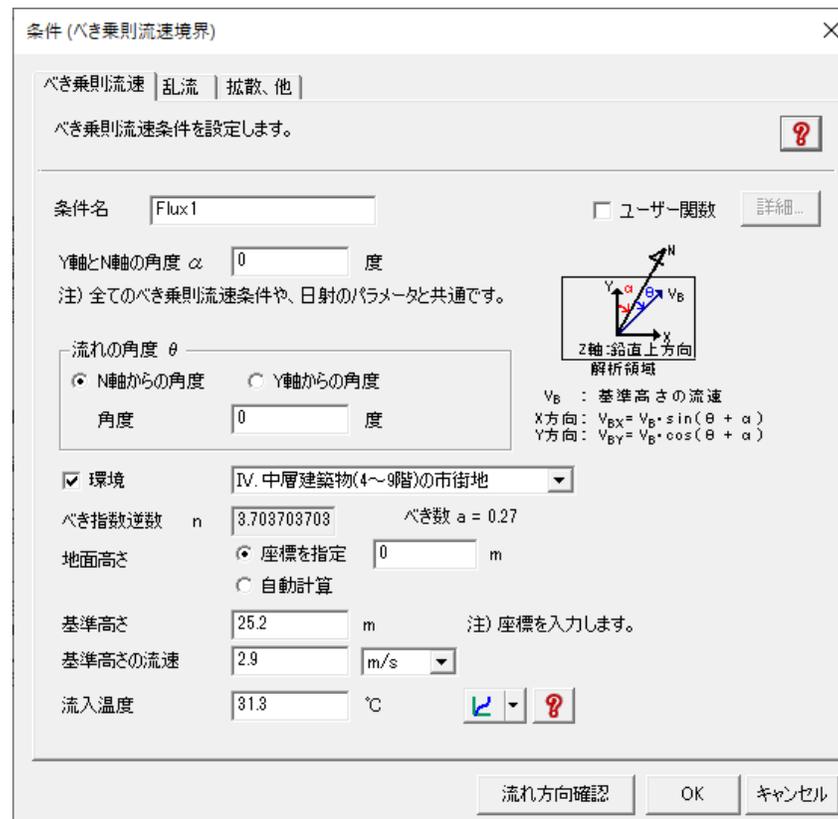
設定項目

入力画面

### <設定値>

- 粗度区分：建築基準法により定められた市街地表面の環境を表す指標。  
べき数  $n$ 、上空風高度  $Z_G$  は粗度区分から自動的に決まる。
- $Z_B$ ：基準高さ。べき乗則の基準となる高さ。
- $V_B$ ：基準風速。基準高さでの流速。
- $Z_0$ ：地面高さ。地面高さから鉛直方向にべき乗則流速を算出する。
- 流入角度：流入風の方角を考慮し、決定する。

粗度区分	環境	べき数 $n$	$Z_G$ [m]
I	海のようなほとんど障害物のない平坦地	10.0	250
II	田園地帯や草原のような、農作物程度の障害がある平坦地、樹木・低層建築物などが散在している平坦地	6.6667	350
III	樹木・低層建築物が密集する地域、あるいは中層建築物(4～9階)が散在している地域	5.0	450
IV	中層建築物(4～9階)が主となる市街地	3.7037	550
V	高層建築物(10階以上)が主となる市街地	2.8571	650



条件 (べき乗則流速境界)

べき乗則流速 | 乱流 | 拡散、他 |

べき乗則流速条件を設定します。

条件名 Flux1  ユーザー関連 詳細...

Y軸とN軸の角度  $\alpha$  0 度

注) 全てのべき乗則流速条件や、日射のパラメータと共通です。

流れの角度  $\theta$

N軸からの角度  Y軸からの角度

角度 0 度

環境 IV. 中層建築物(4～9階)の市街地

べき指数逆数  $n$  3.703703703 べき数  $a = 0.27$

地面高さ  座標を指定 0 m  自動計算

基準高さ 25.2 m 注) 座標を入力します。

基準高さの流速 2.9 m/s

流入温度 31.3 °C

流れ方向確認 OK キャンセル

# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## シミュレーション実行・結果出力

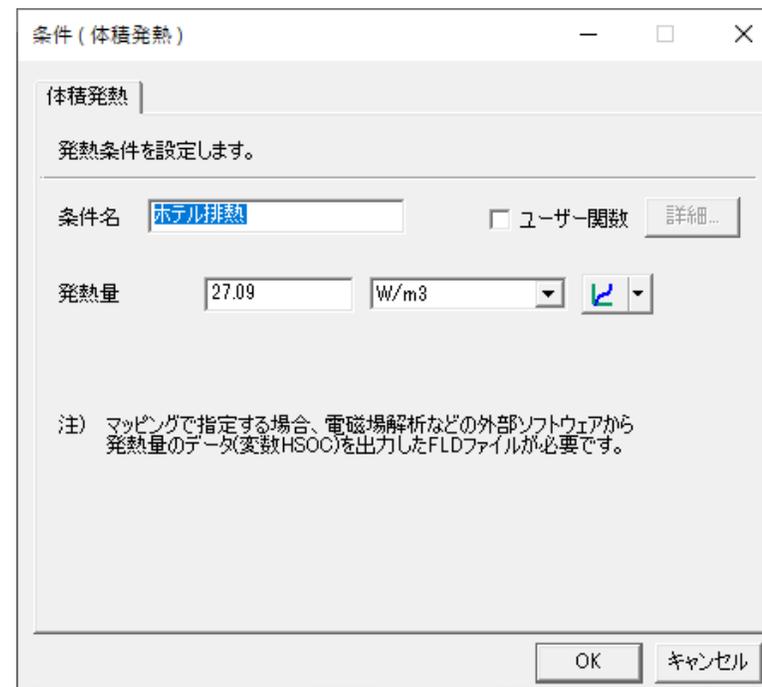
### 排熱設定

建物の用途ごとに建物から排出される発熱量を設定する。ソフトウェアに建物用途ごとの発熱量のデータベースを構築しており、用途の選択により設定が可能である。

設定データベース



条件入力画面



# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

## シミュレーション実行・結果出力

### 日射条件

対象地域、シミュレーション対象日時を設定し、ソフトウェア内に構築しているASHRAEハンドブック（アメリカ暖房冷凍空調学会2013）のデータベースを適用し、シミュレーションを実行する。

設定項目

入力画面

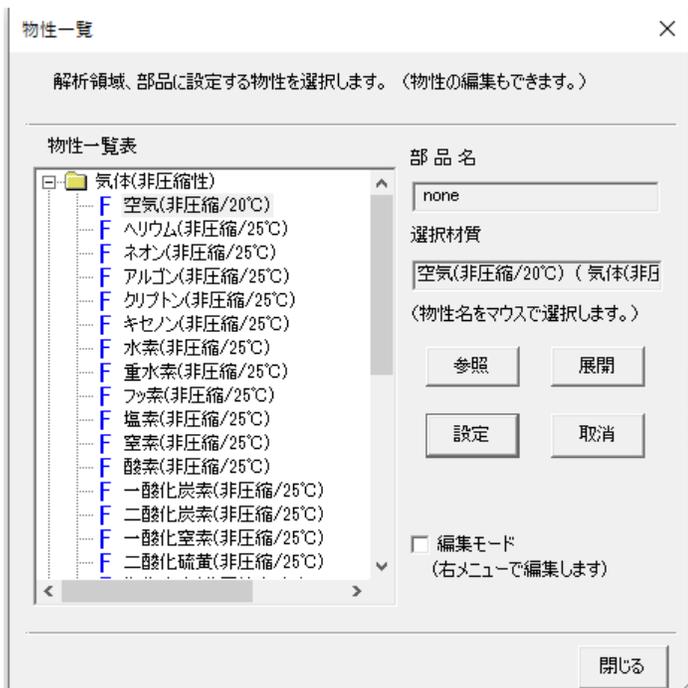
設定	説明
地域・地点	シミュレーションを実施する地域(国名)、地点(都市名)を入力することで緯度経度を設定
日時、日付	シミュレーションを実施する月、日、時刻を入力することで、日射条件を設定

# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能 シミュレーション実行・結果出力

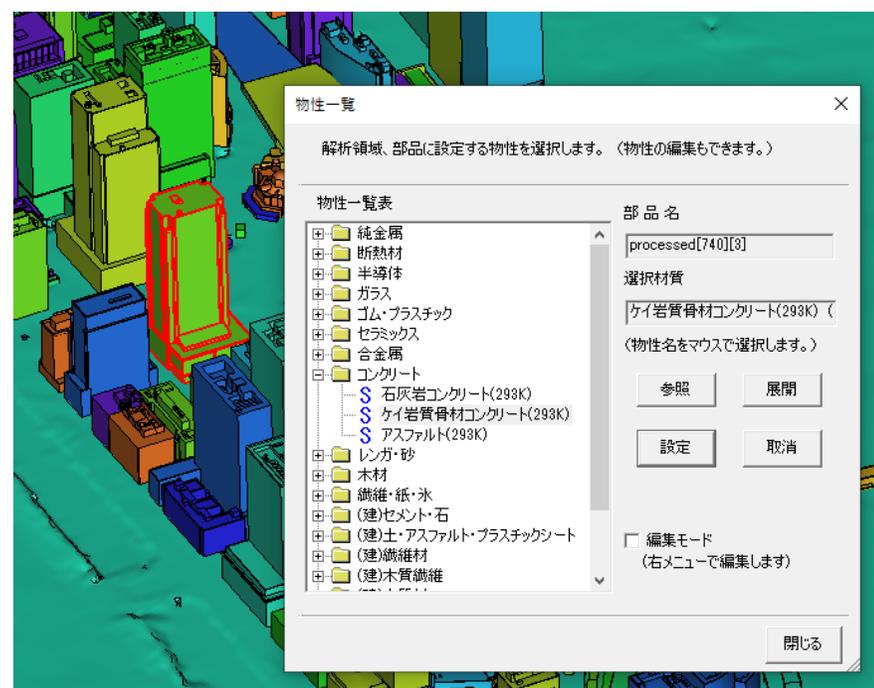
## 物性値設定

空気、構造物の物性値をソフトウェア内のデータベースから条件適用を行う。建物は同じ物性値であれば複数の建物について一括で値を付与する。

物性設定例(気体)



物性設定例(固体)



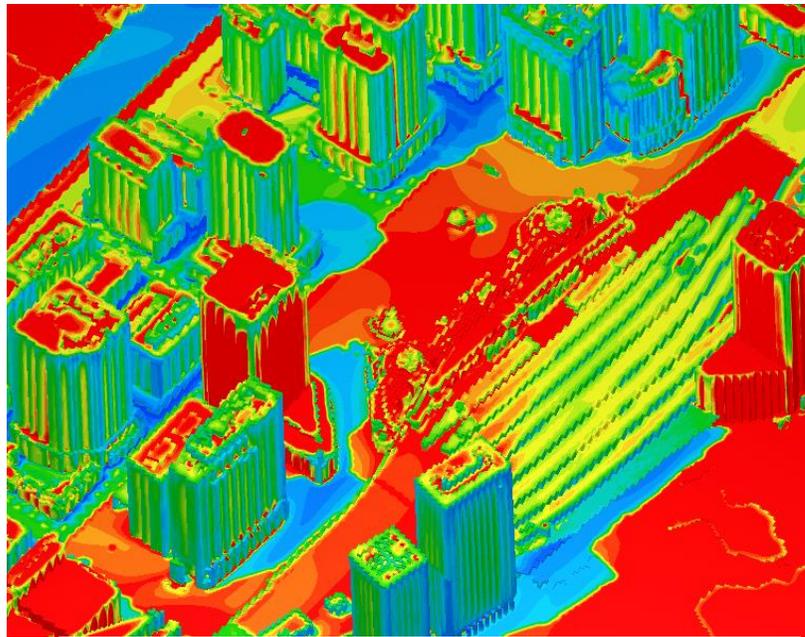
# Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能 可視化



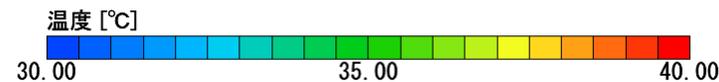
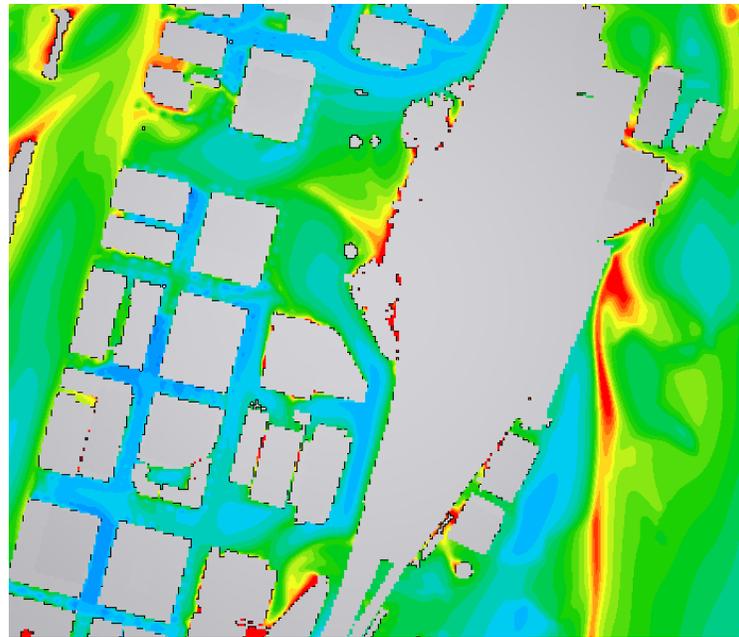
PLATEAU  
by MLIT

設定した条件の下、熱流体解析のアルゴリズムの下でシミュレーションを行う。建物や構造物の表面温度、空気温度、流れの様子の解析結果が3次元で表示される。そのメッシュ単位での座標値と温度について、CSVで出力した結果をFME desktopで変換し、3D都市モデルに重畳する。変換方法は6.②データ処理の項に記載した。

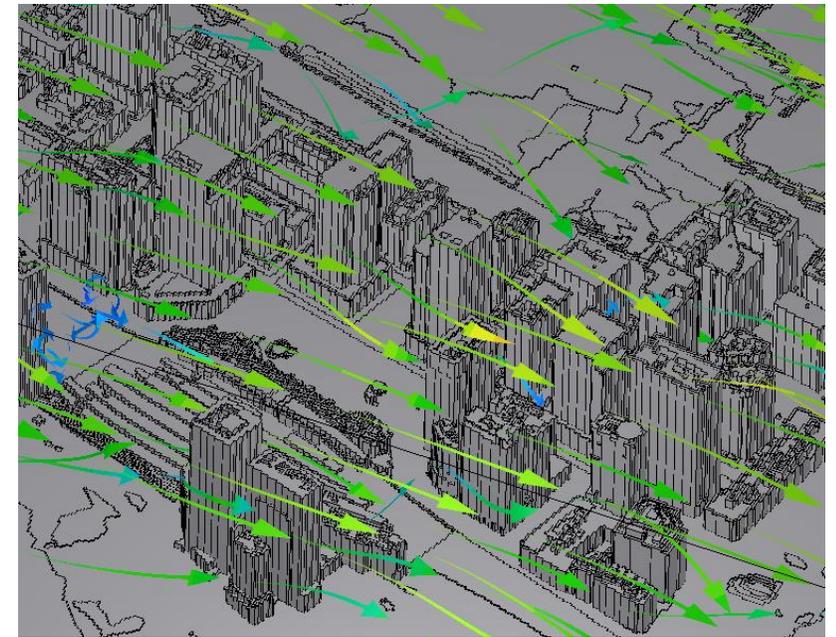
表面温度



空気温度



流れの様子



# Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

## アルゴリズム

### 熱流体解析の考え方

解析にあたっては、熱の流れを表現する方程式をコンピュータで解釈できる形式に離散化し、分割した要素ごとに、連立方程式を解くことでシミュレーション結果（流速、温度など）を求める。

今回は入力値を既存ソフトウェアに投入し、ヒートアイランド対策による気温・建物表面の温度変化を算出した。

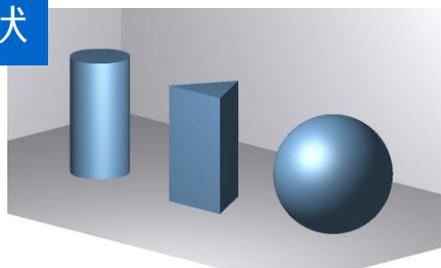
流れ熱を記述する現象基礎方程式（非圧縮性）

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} + \frac{1}{\rho} f_i$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial T u_j}{\partial x_j} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x_j^2} + \frac{q}{\rho c_p}$$

元の形状



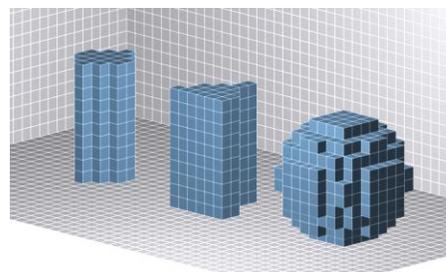
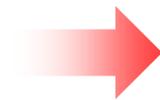
方程式の離散化  
(イメージ)



コンピュータで処理できる形式への変換（離散化）

$$\frac{T^{n+1}(x) - T^n(x)}{\Delta t} = \frac{T^{n+1}(x - \Delta x) - 2T^{n+1}(x) + T^{n+1}(x + \Delta x)}{\Delta x^2}$$

構造格子による分割



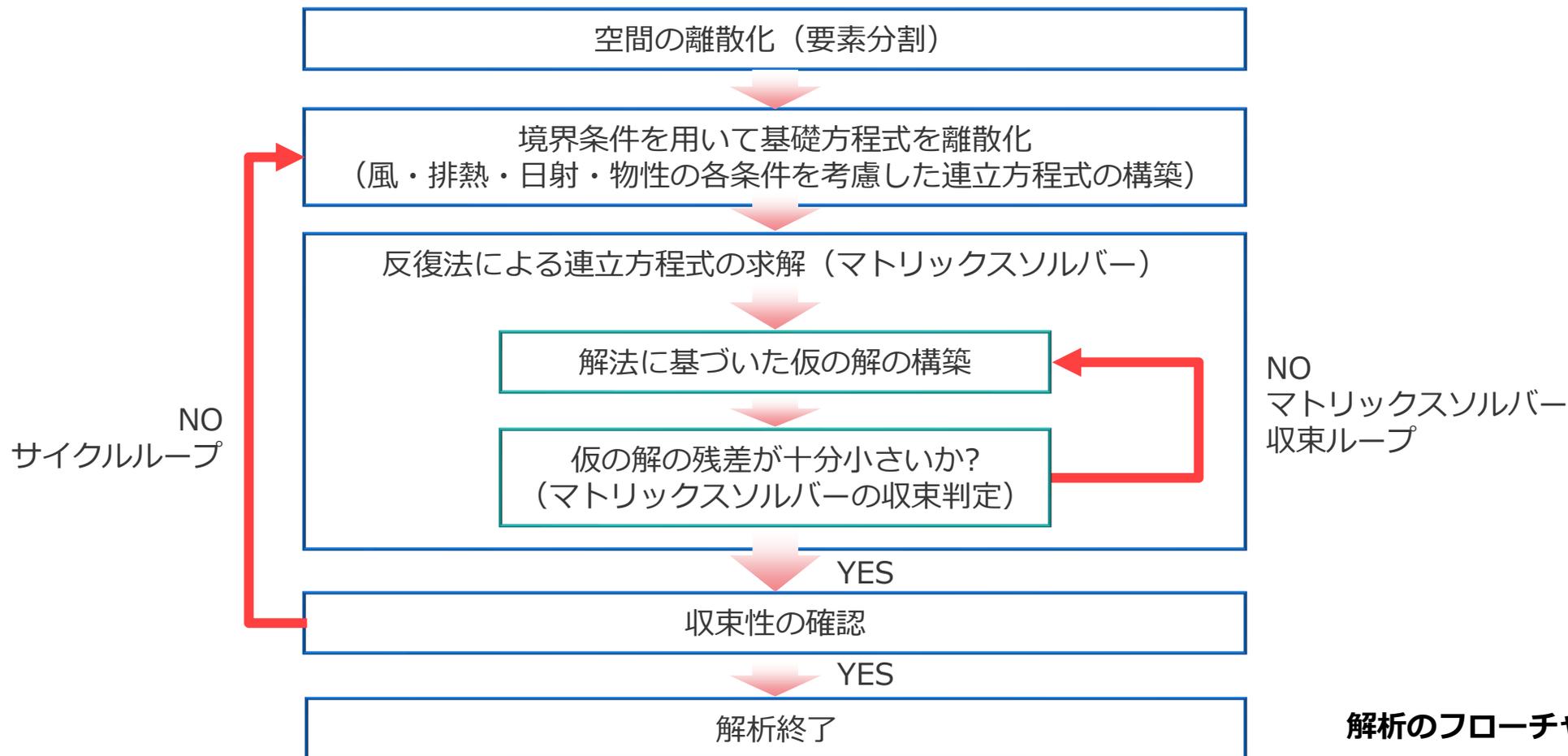
- $x_j$  : 位置座標
- $u_j$  :  $x_j$ 方向の流体速度
- $t$  : 時間
- $p$  : 流体の圧力
- $\rho$  : 流体または固体の密度
- $T$  : 流体または固体の温度
- $C_p$  : 低圧比熱
- $q$  : 発熱量

# Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

## アルゴリズム

熱流体解析シミュレーションのフロー

分割した要素ごとに離散化した連立方程式を行列計算の反復により解き、収束値を算出する。



解析のフローチャート

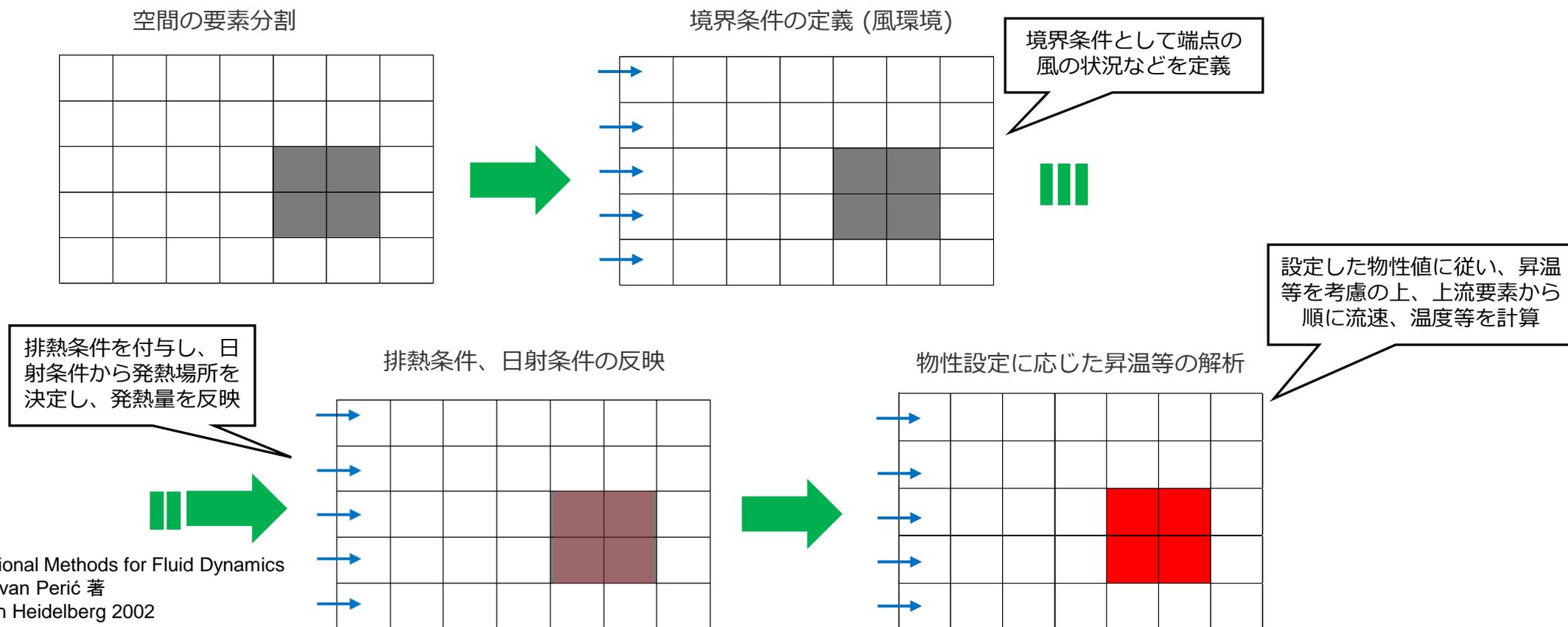
# Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

## アルゴリズム

### 熱流体解析の進行イメージ

分割した空間において境界部の風環境などを定義し、排熱、日射、物性値に基づき空気の流れ、温度等を算出する。

#### シミュレーションの進行イメージ (灰色部はビル(固体)を想定)



参考文献 : Computational Methods for Fluid Dynamics  
 Joel H. Ferziger, Milovan Perić 著  
 Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002

### Ⅲ. 実証システム > 6. データ

## ① 活用データ | 3D都市モデル一覧

地物	地物型	属性区分	属性名	内容
建築物LOD2	bldg:Building	空間属性	bldg:lod2Solid	建築物のLOD2の立体
		主題属性	uro:buildingDetailAttribute	建物利用現況

### Ⅲ. 実証システム > 6. データ

## ① 活用データ | その他の活用データ一覧

活用データ	内容	データ形式	出所
気象データ	東京の夏期、最も暑い時刻の気温、風速	xlsx形式	気象庁データベース
	皇居のお堀の水面温度	xlsx形式	環境省「皇居・皇居外苑のクールアイランド効果の観測結果について」をもとに想定
排熱条件	用途ごとの建物の排熱量の原単位	xlsx形式	環境省「平成15年度都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査」
物性値	建物、地面の日射吸収率	xlsx形式	最新建築環境工学 [改訂2版]
	遮熱性舗装の日射吸収率	xlsx形式	東京都「平 24. 都土木技術支援・人材育成センター年報」
	植栽の樹冠の高さや樹高	xlsx形式	関東地方整備局「街路樹管理マニュアル」
	ドライミストの配置や噴霧量	xlsx形式	空気調和・衛生工学会



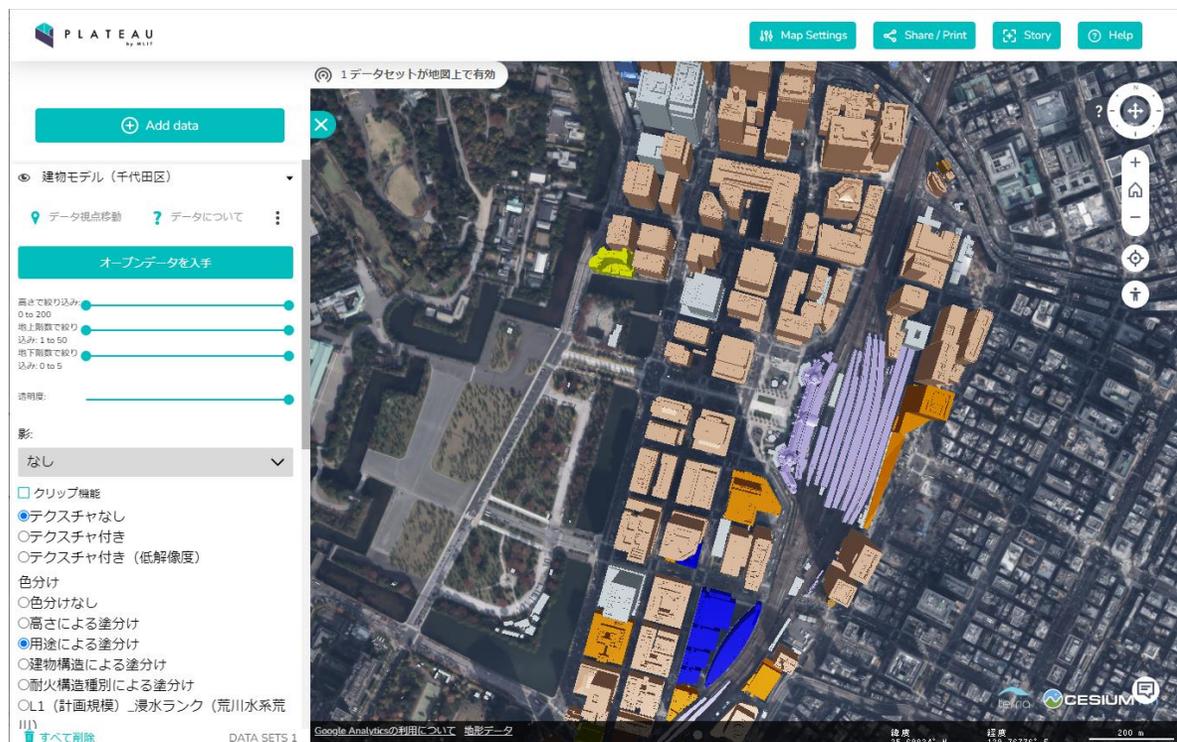
# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ 排熱条件

## 建物排熱条件設定

3D都市モデルの建物用途属性に記載された用途に応じて建物排熱の原単位を設定した。

具体的には、用途ごとに、国土交通省・環境省「平成15年度 都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書」第2章建物排熱の計算方法に記載の下表の顕熱と潜熱との数値の和を排熱として設定した。

事務所、商業、ホテルなどの主要用途に応じて排熱原単位を適用。会議施設は排熱原単位がなく、大学建物と類似するものと設定した。ソフトウェアの入力条件が単位容積あたりのため、階高3.5mと仮定、建物全体から排熱するとした場合の容積あたりの排熱を設定した。



- 事務所建物
- 商業建物
- 大学建物
- ホテル建物



対象区域の建物用途



# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ 排熱条件

## 建物排熱条件設定

各用途別の原単位は8月の13時の以下の値を採用した。

### 事務所

表 2 - 9 事務所建物の排熱原単位の例 ( 8 月の推計値 )

時刻	消費エネルギー原単位(kJ/m <sup>2</sup> h)			負荷(kJ/m <sup>2</sup> h)		排熱(kJ/m <sup>2</sup> h)		
	一般電力	空調エネルギー	給湯エネルギー	空調負荷	給湯負荷	顕熱	潜熱	下水
1	10.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	10.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	10.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	10.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	10.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	10.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	41.57	6.28	0.00	25.10	0.00	-18.03	57.53	0.00
8	64.67	43.44	45.98	173.77	38.16	53.34	165.74	45.98
9	113.93	49.24	31.65	196.94	26.27	66.94	186.87	31.65
10	126.25	49.24	38.98	196.94	32.35	61.02	191.72	38.98
11	127.79	47.79	27.32	191.15	22.68	49.57	190.05	27.32
12	120.09	46.82	23.32	187.29	19.36	41.81	190.13	23.32
13	127.79	46.34	26.65	185.36	22.12	39.08	190.47	26.65
14	133.95	47.31	31.99	189.22	26.55	43.12	192.97	31.99
15	127.79	47.31	24.99	189.22	20.74	42.44	191.70	24.99
16	127.79	46.34	19.66	185.36	16.32	46.67	183.59	19.66
17	117.01	32.34	17.99	129.37	14.93	25.82	138.79	17.99
18	92.38	7.72	15.99	30.89	13.27	-10.99	68.01	15.99
19	55.43	4.83	17.99	19.31	14.93	-9.56	59.11	17.99
20	50.81	4.34	10.66	17.38	8.85	-30.95	55.86	10.66
21	15.40	2.90	0.00	11.58	0.00	-35.49	49.97	0.00
22	10.78	0.48	0.00	1.93	0.00	-41.19	43.61	0.00
23	10.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	10.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
合計	1539.67	482.72	333.17	1930.81	276.53	323.6	2156.12	333.17

### 商業

表 2 - 10 商業建物の排熱原単位の例 ( 8 月の推計値 )

時刻	消費エネルギー原単位(kJ/m <sup>2</sup> h)			負荷(kJ/m <sup>2</sup> h)		排熱(kJ/m <sup>2</sup> h)		
	一般電力	空調エネルギー	給湯エネルギー	空調負荷	給湯負荷	顕熱	潜熱	下水
1	29.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	29.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	29.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	29.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	29.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	29.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	29.15	4.53	0.00	7.99	0.00	-212.17	224.47	0.00
8	61.93	131.25	76.39	231.84	63.40	-74.86	427.63	63.40
9	163.94	411.86	52.88	727.51	43.89	159.29	915.30	43.89
10	298.74	429.97	38.52	759.48	31.97	129.03	954.56	31.97
11	298.74	439.02	50.92	775.47	42.27	112.71	990.04	42.27
12	298.74	434.49	60.72	767.48	50.40	89.00	1,000.52	50.40
13	298.74	411.86	65.94	727.51	54.73	61.06	967.74	54.73
14	316.95	429.97	50.27	759.48	41.73	79.73	993.52	41.73
15	298.74	439.02	37.87	775.47	31.43	89.22	1,005.05	31.43
16	313.31	429.97	42.44	759.48	35.22	110.29	963.77	35.22
17	298.74	429.97	58.11	759.48	48.23	132.90	947.04	48.23
18	236.80	357.55	49.62	631.57	41.18	92.94	800.34	41.18
19	185.80	81.47	46.35	143.90	38.47	-116.52	355.07	38.47
20	167.58	58.84	22.85	103.93	18.97	-135.32	312.38	18.97
21	83.79	36.21	0.00	63.96	0.00	-173.80	270.74	0.00
22	47.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	40.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	40.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
合計	3654.09	4525.98	652.88	7994.55	541.89	343.59	11128.17	541.89

出所) 国土交通省・環境省「平成15年度 都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書」(2004年3月) ([https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/heat\\_island/03.pdf](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/heat_island/03.pdf))



# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ 排熱条件

## 建物排熱条件設定

各用途別の原単位は8月の13時の以下の値を採用した。

### ホテル

表 2 - 11 ホテル建物の排熱原単位の例 (8月の推計値)

時刻	消費エネルギー原単位 (kJ/m <sup>2</sup> h)			負荷 (kJ/m <sup>2</sup> h)		排熱 (kJ/m <sup>2</sup> h)		
	一般電力	空調エネルギー	給湯エネルギー	空調負荷	給湯負荷	顕熱	潜熱	下水
1	57.55	151.20	83.66	199.37	69.44	57.96	260.38	69.44
2	51.80	113.40	67.39	149.53	55.94	31.83	207.41	55.94
3	47.96	106.53	65.07	140.47	54.01	28.39	196.92	54.01
4	46.04	113.40	58.10	149.53	48.22	33.70	204.25	48.22
5	38.37	113.40	58.10	149.53	48.22	33.07	205.19	48.22
6	46.04	109.96	79.01	145.00	65.58	31.51	203.42	65.58
7	53.72	106.53	83.66	140.47	69.44	22.08	205.07	69.44
8	65.23	127.14	104.57	167.66	86.80	30.60	238.85	86.80
9	90.17	144.33	116.19	190.31	96.44	31.17	273.46	96.44
10	94.00	137.45	127.81	181.25	106.08	18.63	271.52	106.08
11	111.27	144.33	104.57	190.31	86.80	13.12	285.15	86.80
12	109.35	178.69	92.95	235.62	77.15	27.46	338.00	77.15
13	103.60	164.94	120.84	217.50	100.30	18.02	323.37	100.30
14	111.27	185.56	132.46	244.69	109.94	33.87	351.57	109.94
15	115.11	175.25	127.81	231.09	106.08	28.07	335.37	106.08
16	109.35	185.56	111.54	244.69	92.58	42.45	340.03	92.58
17	101.68	175.25	111.54	231.09	92.58	40.77	317.51	92.58
18	103.60	192.44	83.66	253.75	69.44	56.87	333.04	69.44
19	103.60	164.94	102.25	217.50	84.87	49.39	289.22	84.87
20	92.09	154.64	104.57	203.91	86.80	47.52	272.32	86.80
21	76.74	127.14	118.52	167.66	98.37	33.96	233.54	98.37
22	70.98	127.14	125.49	167.66	104.15	39.37	236.45	104.15
23	70.98	123.71	88.31	163.12	73.29	35.80	227.31	73.29
24	70.98	123.71	88.31	163.12	73.29	36.97	226.46	73.29
合計	1941.48	3446.64	2356.38	4544.83	1955.81	822.58	6375.81	1955.81

### 大学

表 2 - 12 大学建物の排熱原単位の例 (8月の推計値)

時刻	消費エネルギー原単位 (kJ/m <sup>2</sup> h)			負荷 (kJ/m <sup>2</sup> h)		排熱 (kJ/m <sup>2</sup> h)		
	一般電力	空調エネルギー	給湯エネルギー	空調負荷	給湯負荷	顕熱	潜熱	下水
1	74.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	68.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	74.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	74.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	62.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	95.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	152.22	56.91	0.00	56.88	0.00	-119.18	224.90	0.00
8	152.22	393.97	50.53	393.77	41.94	79.27	645.87	41.94
9	164.16	446.50	34.79	446.27	28.87	113.49	734.46	28.87
10	199.97	446.50	42.84	446.27	35.56	95.75	751.07	35.56
11	220.87	433.37	30.03	433.15	24.92	71.35	746.86	24.92
12	205.94	424.61	25.63	424.40	21.27	52.57	747.69	21.27
13	211.91	420.23	29.29	420.02	24.31	44.19	747.75	24.31
14	179.08	428.99	35.15	428.77	29.18	52.75	756.49	29.18
15	152.22	428.99	27.46	428.77	22.79	54.27	753.52	22.79
16	137.30	420.23	21.60	420.02	17.93	68.17	723.06	17.93
17	122.37	293.29	19.77	293.14	16.41	22.42	548.73	16.41
18	122.37	70.04	17.58	70.00	14.59	-98.21	266.78	14.59
19	110.43	43.77	19.77	43.75	16.41	-104.04	225.29	16.41
20	68.65	39.40	11.72	39.38	9.73	-102.72	214.56	9.73
21	83.57	26.26	0.00	26.25	0.00	-108.36	194.00	0.00
22	83.57	4.38	0.00	4.38	0.00	-159.17	167.64	0.00
23	83.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	83.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
合計	2984.69	4377.44	366.16	4375.22	303.91	-37.45	8448.67	303.91

出所) 国土交通省・環境省「平成15年度 都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書」(2004年3月) ([https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/heat\\_island/03.pdf](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/heat_island/03.pdf))

# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ 物性値

## ヒートアイランド対策のケース設定

ヒートアイランド対策の効果を分析するため、建物排熱を考慮した以下の3ケースについて、「表面温度」のほか、人の感覚を表現する「地上1.5m高さ温度」、「暑さ指数」の3指標により、ヒートアイランド現象を解析した。

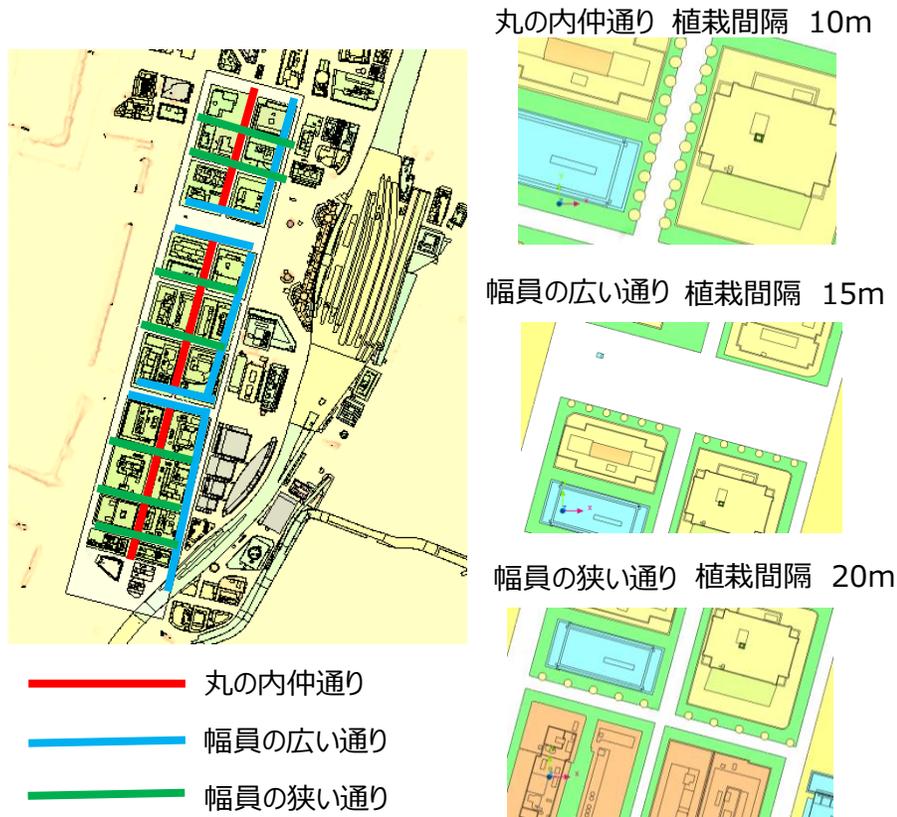
目的	ケース	概要
対策効果分析	① ヒートアイランド対策(緑化・舗装)なし	排熱効果を見込んだ上で、緑化対応・遮熱性舗装・保水性舗装の有り／無しの2ケースの解析を実施し、対策効果を確認する。
	② ヒートアイランド対策(緑化・舗装)あり	
(追加分析)	③ ヒートアイランド対策(緑化・舗装)あり + ドライミスト	緑化対応/遮熱性舗装/保水性舗装を考慮したケースについては、さらにドライミストを追加した解析も行う。

# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ 物性値

## ヒートアイランド対策内容

ヒートアイランド対策の植栽、舗装、ドライミストの範囲を以下のとおり設定した。

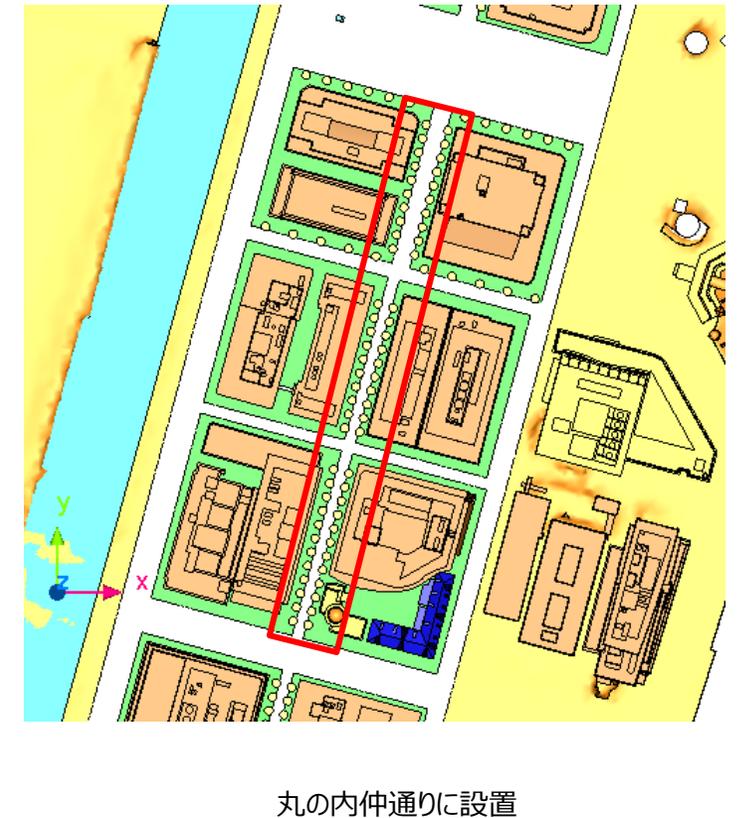
### 植栽の配置



### 舗装の範囲



### ドライ型ミストの範囲



# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ 物性値

## 舗装の日射吸収率

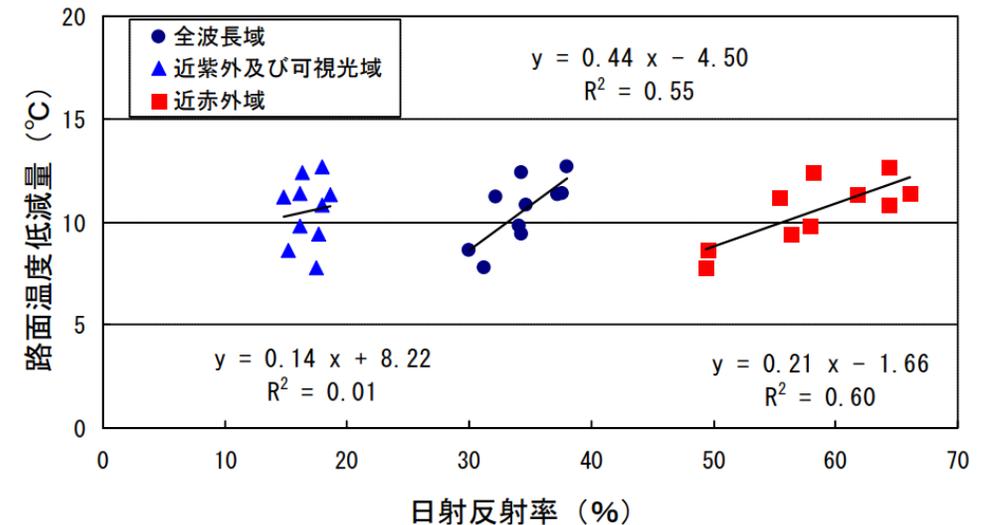
道路の日射吸収率は、「最新建築環境工学」に示されているアスファルトの値を参考に、下限値0.85を採用した。遮熱性舗装については、通常の舗装よりも反射率が高いため、下記文献による近赤外域の日射反射率の値（49.4～66.1%）を参考に日射反射率を約0.6と想定し、日射吸収率を0.4と設定した。

各種材質の日射吸収率

等級	材料	日射吸収率 $\alpha$
0	完全黒体	1.0
1	大きな空洞にあげられた小孔	0.97～0.99
2	黒色非金属面(アスファルト・スレート・ペイント・紙)	0.85～0.98
3	赤れんが・タイル・コンクリート・石・さびた鉄板暗色ペイント(赤・褐・緑など)	0.65～0.80
4	黄および鈍黄色れんが・石・耐火れんが・耐火粘土	0.50～0.70
5	白または淡クリームれんが・タイル・ペイント・紙・プラスター・塗料	0.30～0.50
6	窓ガラス	大部分は透過
7	光沢アルミニウムペイント・金色またはブロンズペイント	0.30～0.50
8	鈍色黄銅・銅・アルミニウム・トタン板・磨き鉄板	0.40～0.65
9	磨き黄銅・銅・モネルメタル	0.30～0.50
10	よく磨いたアルミニウム・ブリキ板・ニッケル・クローム	0.10～0.40

出所) 最新建築環境工学 [改訂2版]井上書院

日射反射率と路面温度低減量



出所) 東京都土木技術支援・人材育成センター年俵「遮熱性舗装の反射特性の把握」2012  
(<https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp/content/000010023.pdf>)

# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ 物性値

## 植栽

植栽は街路樹を想定し、街路樹管理マニュアルから樹冠の下限高さを2.5mとし、樹高はプラタナスの15mと設定した。街路樹の樹幹は航空写真を確認の上、底辺6mの円錐形とした。植栽の日射に対する特性は、植栽の種類、時期、環境等に応じて異なるため、透過・吸収・反射が等分（日射透過率0.33、日射吸収率0.33、日射反射率0.33）であると仮定した。

### 樹木管理上の建築限界

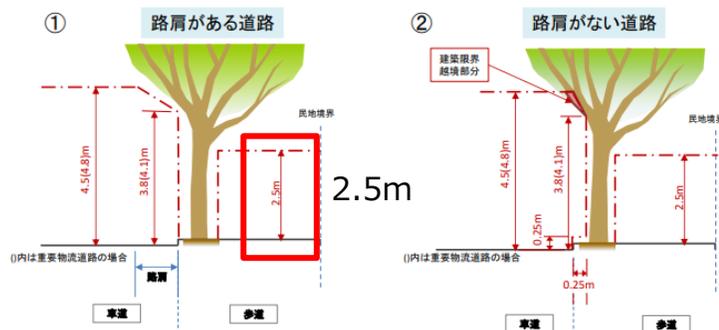


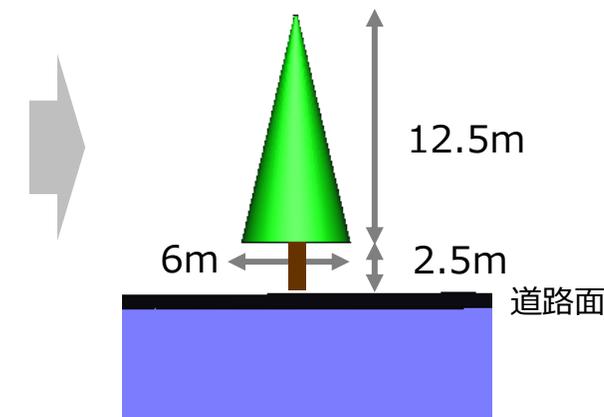
図 4-1 樹形管理において配慮が必要な建築限界

### 樹種別の樹高

<参考> 管内主な樹木のキャノピー率で算定した植栽間隔を以下に示す。(端数切上)  
以下に示す数値以上の間隔を目安とする。

樹木	設定樹高(m)	植栽間隔(m)	樹木	設定樹高(m)	植栽間隔(m)
イチョウ	15	11	プラタナス	15	17
マテバシイ	5	6	ハナミズキ	5	6
ケヤキ	20	24	トウカエデ	8	9
クロガネモチ	10	11	ユリノキ	20	22
ヤマモモ	8	9	サクラ	10	20
カツラ	20	22	ヤナギ	8	12
エンジュ	8	10	ヒメコブシ	15	17
シラカシ	15	17			

### 今回設定した街路樹の形状



出所) 国土交通省関東地方整備局「街路樹管理マニュアル」(2022年2月) ([https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\\_content/content/000821452.pdf](https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000821452.pdf))

# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ 物性値

## ドライミスト

### ドライミストの配置

- 下図のように街路樹の間にノズルを設置しているため、樹冠の下に発熱領域を設定する。また、1m当たり1個のノズルがあるものとして発熱量を算出する。
- 発熱量の値はミストが蒸発する際の蒸発潜熱から求める。

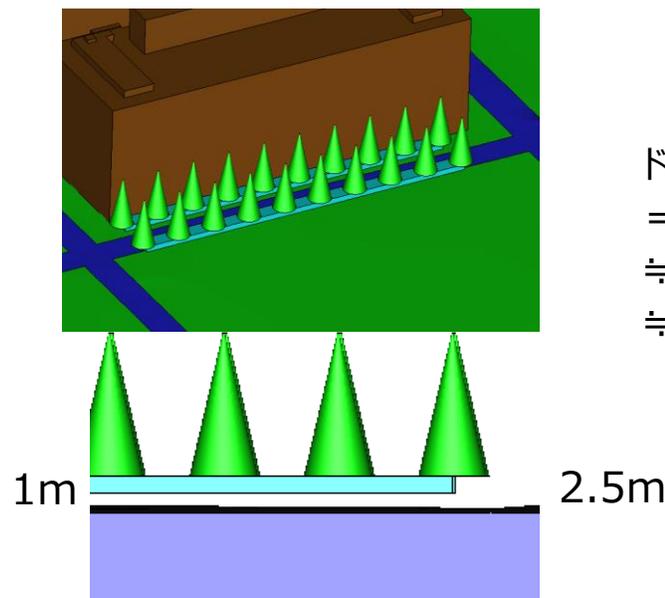


丸の内仲通りのドライミスト設置イメージ

出所) 大丸有まちづくり協議会「大丸有ドライ型ミスト実行委員会に参加致しました!」2019  
(<http://cus4.otemachi-marunouchi-yurakucho.jp/event-info/1276/>)

### ドライミストの噴霧量

- ノズルあたりの水の噴霧量は、下記文献を参考に、50ml/min・箇所と設定。
- 水の蒸発潜熱は約2500kJ/kgのため、ノズル1箇所当たりの蒸発潜熱は約2080J/sとした。



ドライミスト配置

$$\begin{aligned} & \text{ドライミスト1箇所あたりの蒸発潜熱} \\ & = 50\text{ml/min} \times 2500\text{kJ/kg} \\ & \approx 0.83\text{g/s} \times 2500\text{j/g} \\ & \approx 2080\text{j/s} \end{aligned}$$

参考: ドライミスト (特集 都市におけるクールスポット)掲載  
誌 空気調和・衛生工学 83(8) 2009.8 p.651~657

# Ⅲ. 実証システム > 6. データ

## ② データ処理 | 一覧

システムに入力するデータ (データ形式)	用途	処理内容	データ処理ソフトウェア	活用データ (データ形式)
建築物形状データ (OBJ形式)	熱環境シミュレーション用の3Dモデル	• なし	なし	3D都市モデル (OBJ形式)
気象データ (CSV形式)	熱環境シミュレーション用のインプットデータ	• なし	なし	気象データ (CSV形式)
3D都市モデル (3DTiles形式)	WebGIS上での表示	• CSV形式から3DTiles形式への変換	FME Desktop	温熱シミュレーション結果 (CSV形式)

# Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理 気温の3次元可視化データの生成

温度表示点の分布は3mメッシュを基本として、温熱環境シミュレーションの結果をCSV（下図、xyz座標+温度）で出力した。出力したCSVデータをFME DesktopによりLasファイルに変換後、Cesiumにより3DTilesに変換し、PLATEAU VIEWに重畳した。

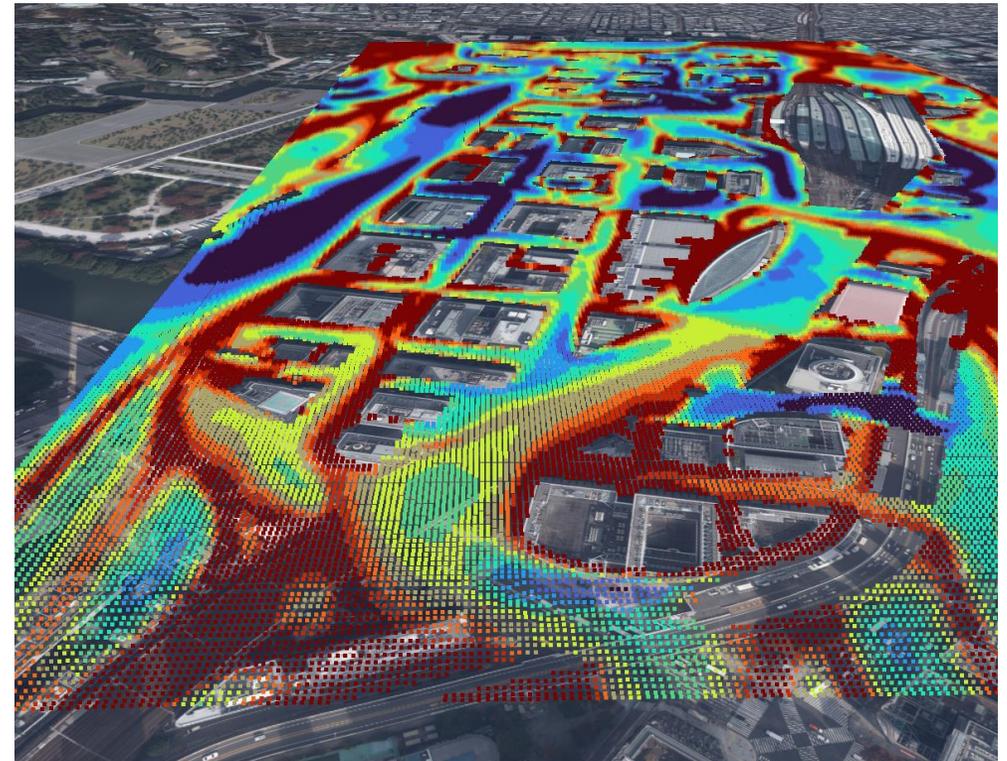
温度表示の配色は、温度の最大値、最小値から等間隔分類により設定した。

CSVデータ

x	y	z	TEMP
-6691	-36314	5.999722	36.26374
-6691	-36311.9	5.999722	36.43229
-6692.79	-36311.9	5.999722	36.70861
-6692.79	-36314	5.999722	36.55417
-6691	-36311.9	5.999722	36.43229
-6691	-36308.8	5.999722	36.67064
-6692.79	-36308.8	5.999722	36.91776
-6692.79	-36311.9	5.999722	36.70861
-6691	-36308.8	5.999722	36.67064
-6691	-36305.8	5.999722	36.81178
-6692.79	-36305.8	5.999722	37.02838
-6692.79	-36308.8	5.999722	36.91776
-6691	-36305.8	5.999722	36.81178
-6691	-36302.3	5.999722	36.95824
-6692.79	-36302.3	5.999722	37.13504
-6692.79	-36305.8	5.999722	37.02838
-6691	-36302.3	5.999722	36.95824
-6691	-36298.7	5.999722	37.11942

XYZ座標を持つ温度データを  
3DTilesに変換、PLATEAU  
VIEWで可視化

3DTilesデータ



# Ⅲ. 実証システム > 6. データ

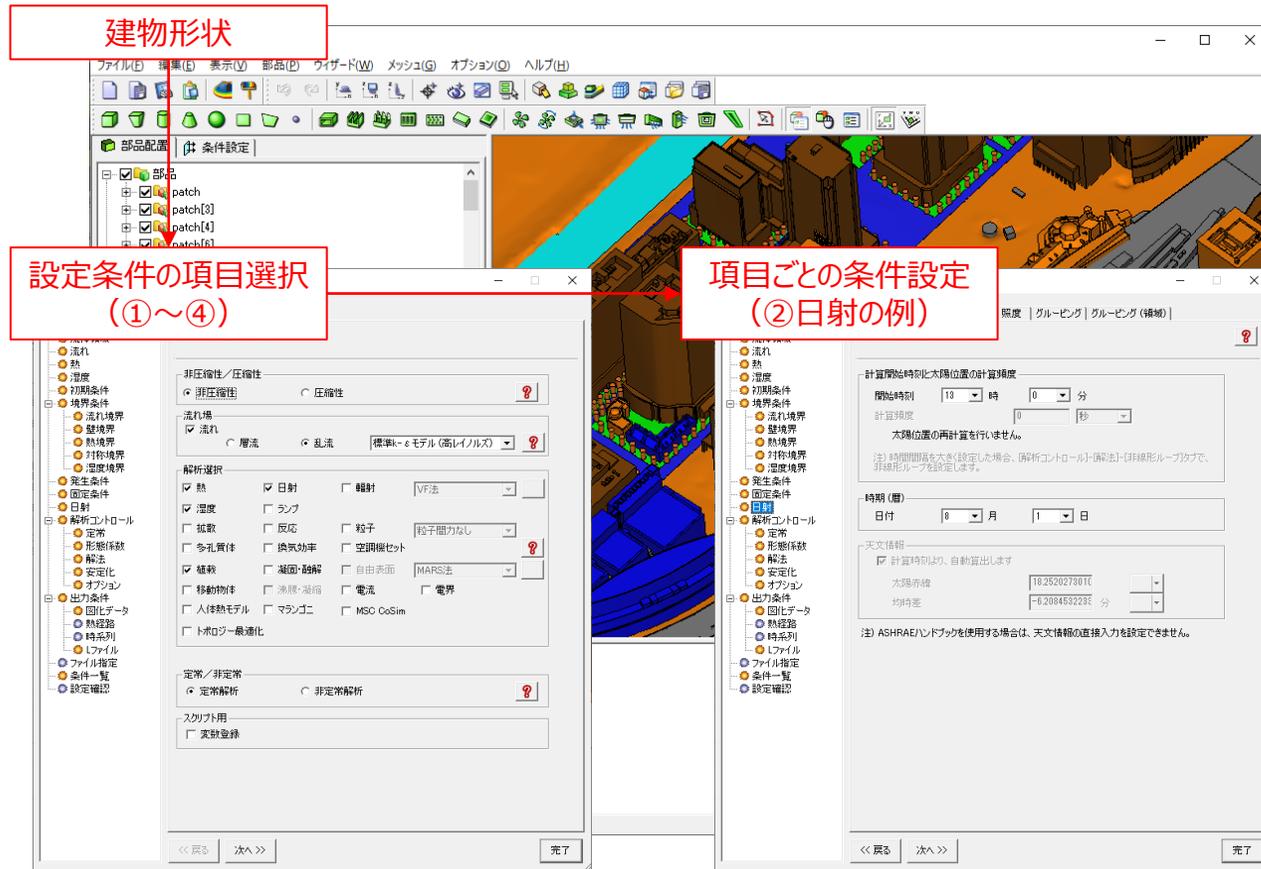
## ③出力データ | 一覧

出力データ	内容	データ形式
表面温度	建物、地面の表面温度（+3mメッシュのXYZ座標値*）	CSV形式
地上から1.5mの気温	地面から高さ1.5mの気温（+3mメッシュのXYZ座標値*）	CSV形式

\*前頁参照

# Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

解析に必要な、風、日射、物性（建物排熱、植栽条件等）の設定条件をソフトに入力、熱流体シミュレーションを実施。



機能名	説明
条件設定	①風の流れの状況
	②日射、輻射、日時、太陽高度等
	③植栽等による流れの抵抗
	④建物排熱
シミュレーション	上記条件設定の下、温熱環境を解析

今回活用したシミュレーションソフト (scSTREAM) の入力画面

# Ⅲ. 実証システム > 8. システムテスト結果

## システムテスト結果

試験項目	確認内容	結果
インポート	建物形状を正しく読み込むことができるか	支障なし
要素分割	建物形状に対して正しく要素分割を行うことができるか	支障なし
シミュレーション	形状、条件を正しく反映したシミュレーションを行うことができるか	支障なし
結果出力	シミュレーション結果を正しく出力できるか	支障なし

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

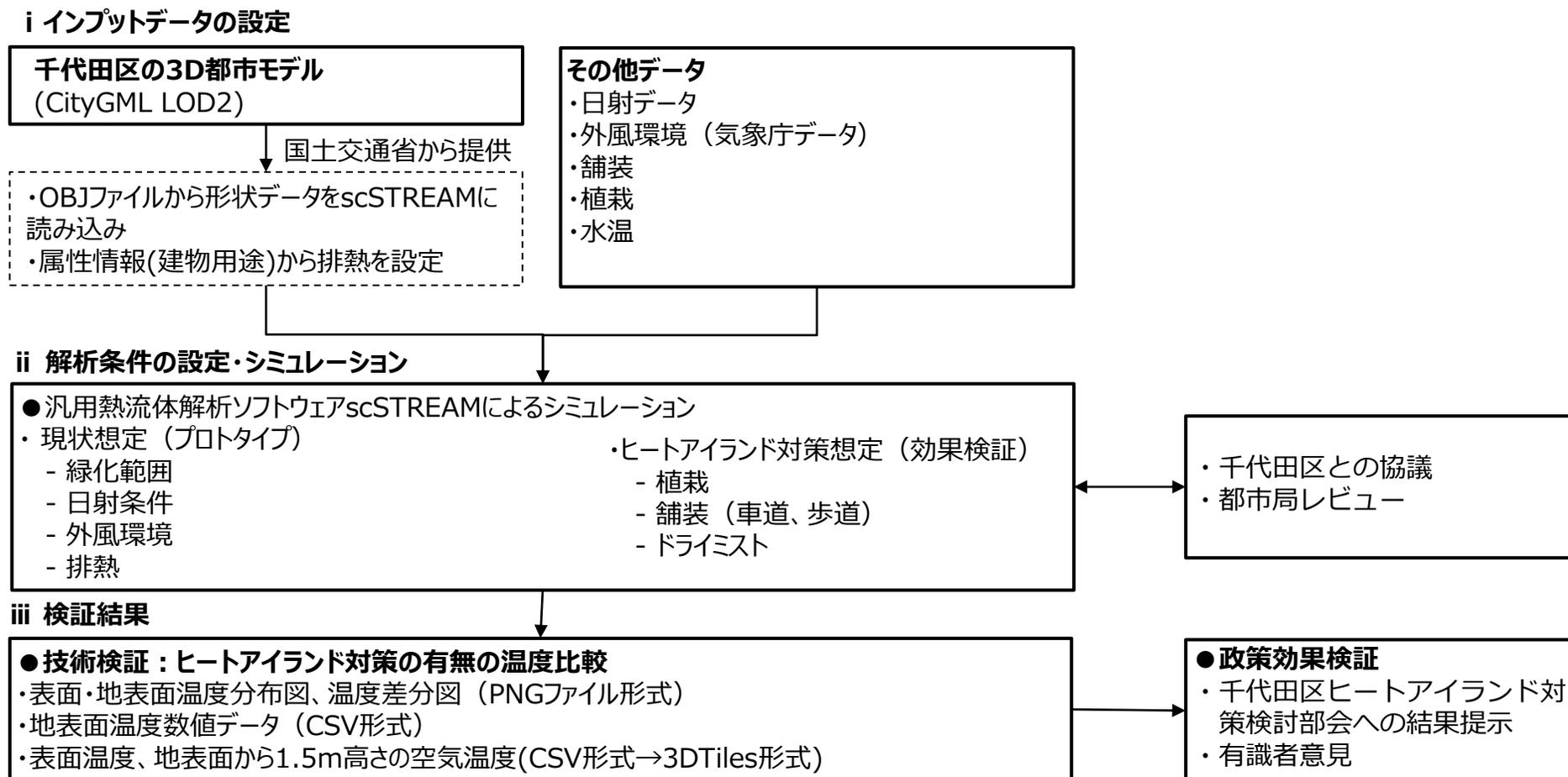
**IV. 実証技術の検証**

V. 成果と課題

## IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

### ① 検証内容 | 全体フロー

以下に示すフローで実証を行った。iii 検証結果について次頁以降に示す。





# IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

## ② 検証結果 | 表面温度

### 対策による温度の差分

ヒートアイランド対策によって地表温度が低下した面積は、ヒートアイランド対策ありで約63%、さらにドライ型ミストの追加で約68%のエリアに達し、対策を実施している道路上に広がっていることが確認された。



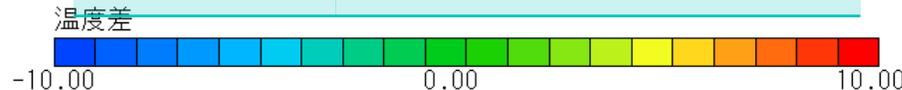
a. ヒートアイランド対策なしとありの温度差

b. ヒートアイランド対策なしとヒートアイランド対策+ドライミストありの温度差

温度差	a	b
-10~-8	4.5%	5.2%
-8~-6	3.3%	3.7%
-6~-4	4.6%	4.6%
-4~-2	10.3%	9.7%
-2~0	40.1%	45.0%
0~2	33.9%	29.3%
2~4	2.6%	2.0%
4~6	0.4%	0.3%
6~8	0.1%	0.1%
8~10	0.2%	0.1%

62.8%

68.2%

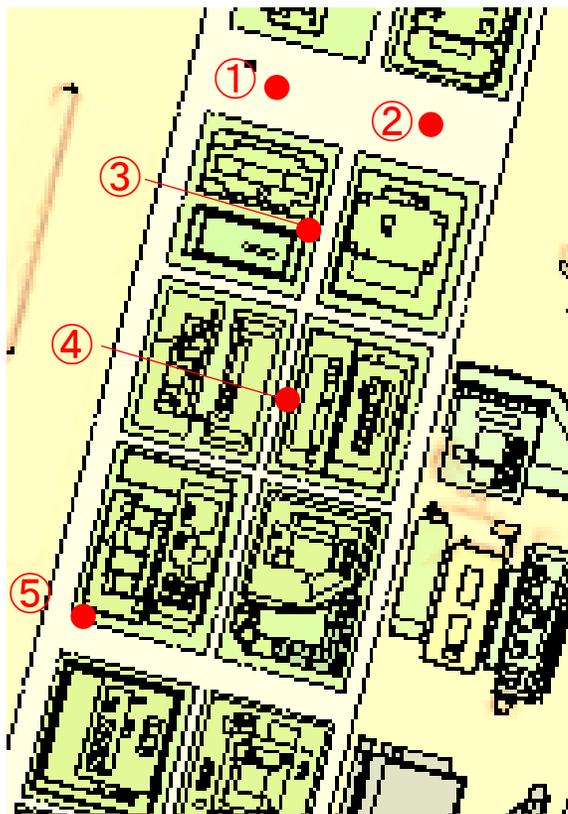


# IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

## ② 検証結果 | 表面温度

### 地点ごとの比較

日向では車道（遮熱性舗装）で約7℃の温度低下、歩道（保水性舗装）で約7℃～17℃の低下が見られた。遮熱性で10℃前後、保水性で10～20℃の低下との想定値と整合的であった。追加でドライミストを設置した場合、設置した箇所（③④）で、さらに0.8℃から1.5℃の温度低下が見られた。



位置図

箇所別の温度（）内は差分

	ヒートアイランド対策なし	ヒートアイランド対策あり	ヒートアイランド対策、ドライミストあり
①車道(日向)	50.0℃	42.8℃(-7.2℃)	41.6℃(-1.2℃)
②車道(日陰)	34.7℃	34.5℃(-0.2℃)	34.2℃(-0.3℃)
③歩道(日陰)	34.2℃	31.1℃(-3.1℃)	30.3℃(-0.8℃)
④歩道(日向)	52.7℃	35.9℃(-16.8℃)	34.4℃(-1.5℃)
⑤歩道(日向)	49.3℃	42.1℃(-7.2℃)	42.3℃(+0.2℃)

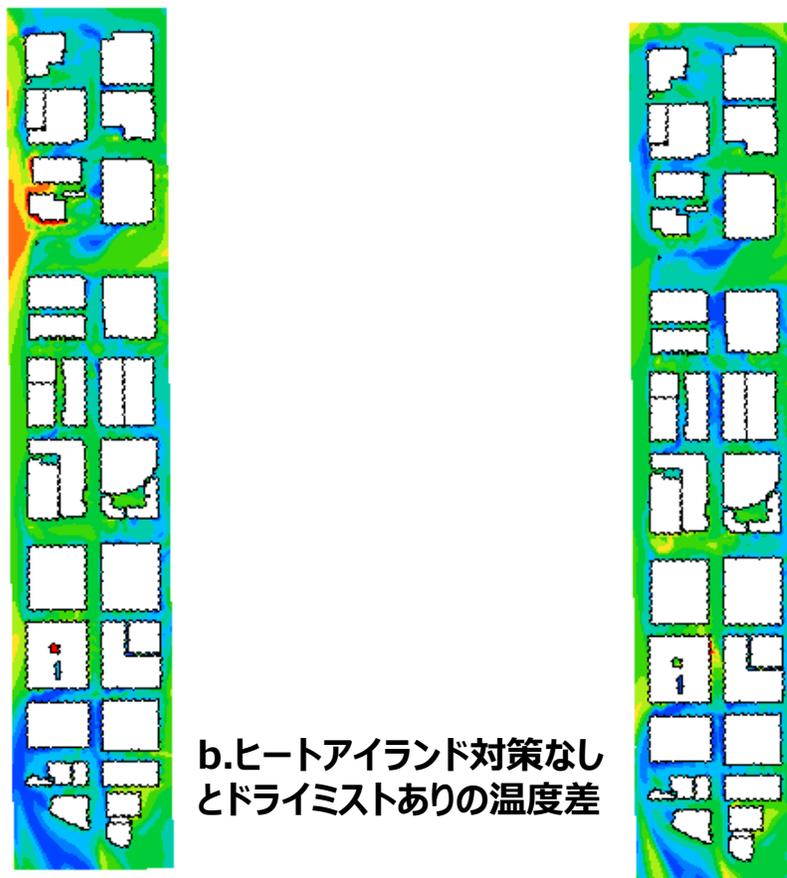


# IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

## ② 検証結果 | 地上1.5m温度

### 対策による温度の差分

ヒートアイランド対策によって温度が低下した面積は、ヒートアイランド対策ありで約73%、さらにドライミストの追加で約85%のエリアに達する。地表面では7割程度であったが、人の目線の高さの方が温度差は小さいが、効果がわずかに広域に広がる。



a. ヒートアイランド対策なしとありの温度差

b. ヒートアイランド対策なしとドライミストありの温度差

温度差帯別の地区に占める面積比

温度差	a	b
-5~-4	4.9%	4.1%
-4~-3	5.7%	6.7%
-3~-2	13.0%	16.3%
-2~-1	23.6%	27.5%
-1~0	25.8%	30.5%
0~1	16.4%	11.0%
1~2	5.7%	3.2%
2~3	2.6%	0.5%
3~4	1.9%	0.1%
4~8	0.4%	0.1%

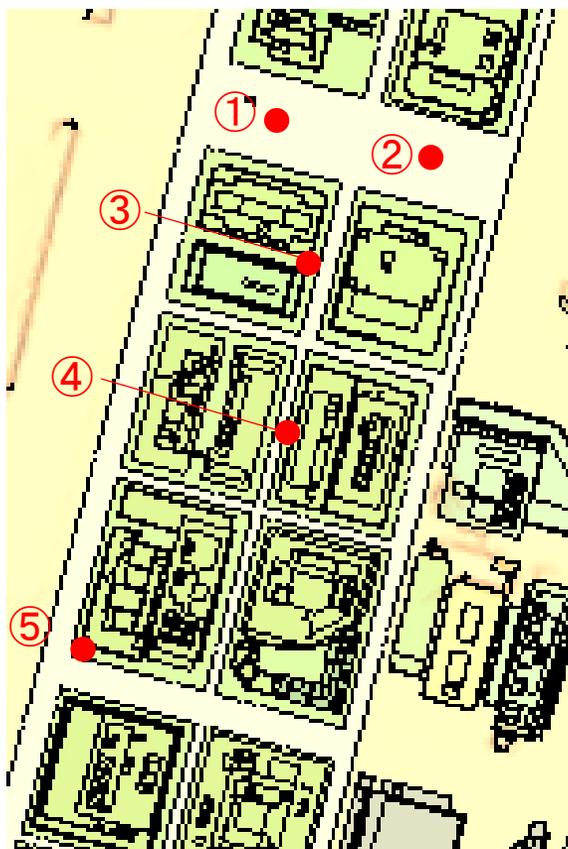


# IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

## ② 検証結果 | 地上1.5m温度

### 地点ごとの比較

地点ごとにみると、対策の有無により0~3℃の温度低下がみられ、変化の幅は国土交通省ガイドラインの実測値と大きな差はないことが確認された。中でも歩道の日向で対策の効果が相対的に大きく、保水性舗装の効果が影響していると推察される。



位置図

箇所別の温度 ( ) 内は差分

	ヒートアイランド対策なし	ヒートアイランド対策あり	ヒートアイランド対策、ドライミストあり
①車道(日向)	36.3℃	36.0℃(-0.3℃)	34.7℃(-1.3℃)
②車道(日陰)	33.6℃	33.7℃(+0.1℃)	33.4℃(-0.3℃)
③歩道(日陰)	33.7℃	32.5℃(-1.2℃)	31.4℃(-1.1℃)
④歩道(日向)	36.9℃	33.5℃(-3.4℃)	31.9℃(-1.6℃)
⑤歩道(日向)	35.0℃	36.0℃(+1.0℃)	36.0℃(0.0℃)

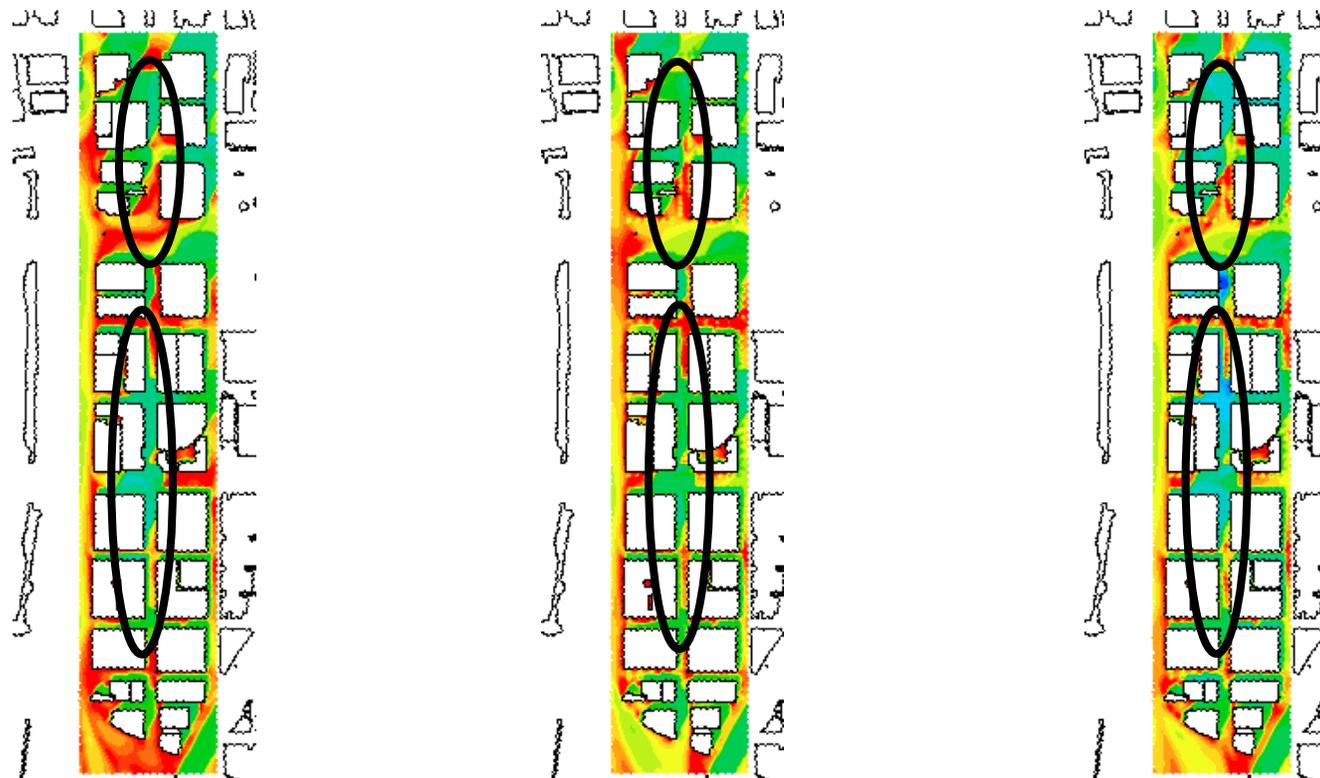
## IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

### ② 検証結果 | 暑さ指数(地上1.5m)

#### 対策による温度比較

人の体感に着目した値として、暑さ指数の比較を行った。ヒートアイランド対策（植栽、舗装）の効果は限定的だが、追加対策のドライミストの効果が高く、湿度の影響が反映できていると確認される。環境省「令和3年度 オリンピック・パラリンピック暑熱環境測定業務 業務報告書」によれば、皇居外苑周辺の8月のWBGTは約31℃前後であり、実測値と大きなずれはない。

①ヒートアイランド対策なし    ②ヒートアイランド対策あり    ③ヒートアイランド対策ありドライミストあり



※暑さ指数（WBGT）とは、熱中症の危険度を判断する数値。暑さ指数（WBGT）は人体と外気との熱のやりとり（熱収支）に着目した指標で、人体の熱収支に与える影響の大きい①湿度、②日射・輻射（ふくしゃ）など周辺の熱環境、③気温の3つを取り入れた指標。

屋外では以下により計測される。

$$\text{WBGT}(\text{℃}) = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度} + 0.1 \times \text{乾球温度}$$

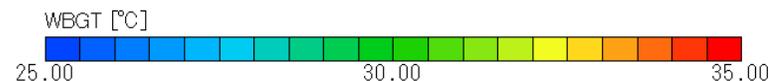
実況推定値は以下の式により推定される。

$$\text{WBGT} = 0.735 \times \text{Ta} + 0.0374 \times \text{RH} + 0.00292 \times \text{Ta} \times \text{RH} + 7.619 \times \text{SR} - 4.557 \times \text{SR}^2 - 0.0572 \times \text{WS} - 4.064$$

(Ta = 気温 (℃)、RH = 相対湿度 (%)、SR = 全天日射量 (kW/m<sup>2</sup>)、WS = 平均風速(m/s))

出所) 環境省「熱中症予防情報サイト」

([https://www.wbgt.env.go.jp/wbgt\\_detail.php](https://www.wbgt.env.go.jp/wbgt_detail.php))

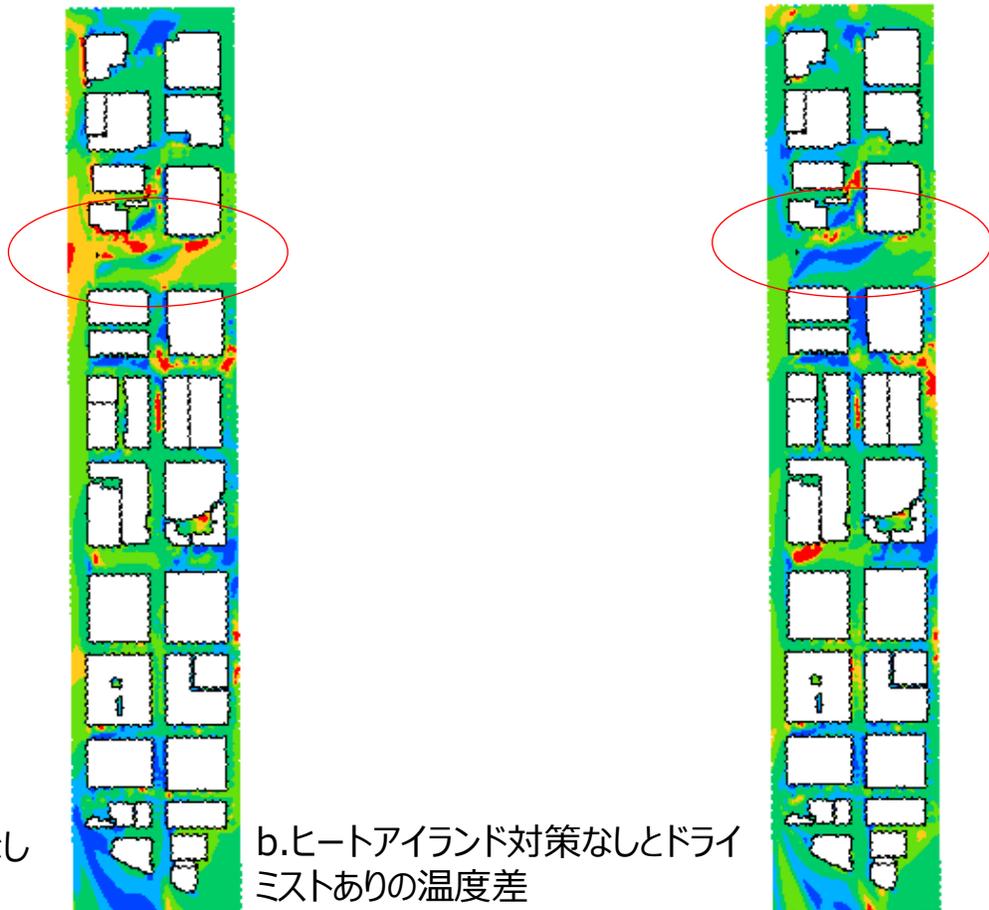


# IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

## ② 検証結果 | 暑さ指数(地上1.5m)

### 対策による温度の差分

ヒートアイランド対策によって温度が低下した面積は約64%、ドライミストの追加で約76%に達し、地上1.5m温度よりも範囲は狭い。行幸通りの温度差がドライミストありの方が大きく、ドライミスト設置の効果を確認できる。



a. ヒートアイランド対策なしとありの温度差

b. ヒートアイランド対策なしとドライミストありの温度差

温度差帯別の地区に占める面積比

温度差	a	b
-3~-2	7.0%	6.6%
-2~-1	15.8%	18.8%
-1~0	41.2%	50.3%
0~1	25.2%	19.7%
1~2	8.7%	3.3%
2~3	2.1%	1.3%

64.0% (for a) and 75.7% (for b) are indicated by red brackets on the right side of the table, representing the cumulative area ratio for temperature differences of -2 or greater.

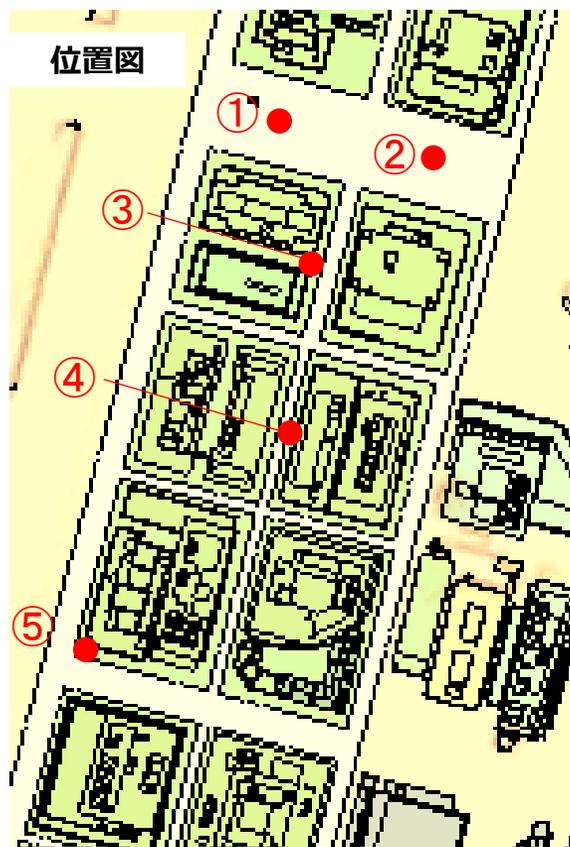


## IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

### ② 検証結果 | 暑さ指数(地上1.5m)

#### 地点ごとの比較

ヒートアイランド対策による効果は表面温度、地上1.5m温度よりも相対的に小さい。暑さ指数は気温に輻射熱、風速、湿度が加味されるため、遮熱性舗装等による輻射熱の影響が反映されたと想定される。ドライミストありでは、ドライミスト設置の4点でヒートアイランド対策ありよりも温度が低下、設定の効果が確認された。



箇所別の温度 ( ) 内は差分

	ヒートアイランド対策なし	ヒートアイランド対策あり	ヒートアイランド対策、ドライミストあり
①車道(日向)	35.4°C	35.5°C(+0.1°C)	33.1°C(-2.4°C)
②車道(日陰)	29.0°C	29.0°C(0.0°C)	28.9°C(-0.1°C)
③歩道(日陰)	29.1°C	29.5°C(+0.4°C)	28.0°C(-1.5°C)
④歩道(日向)	35.1°C	33.4°C(-1.7°C)	32.5°C(-0.9°C)
⑤歩道(日向)	32.8°C	33.2°C(+0.4°C)	33.3°C(+0.1°C)

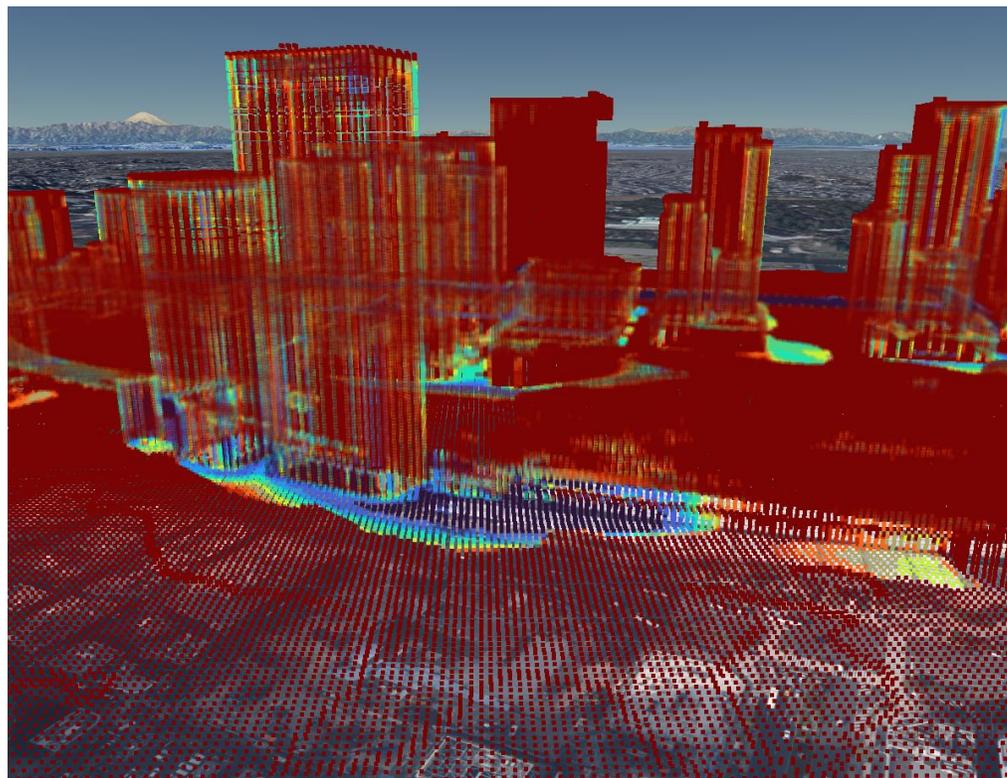
## IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

### ② 検証結果 | 3次元可視化

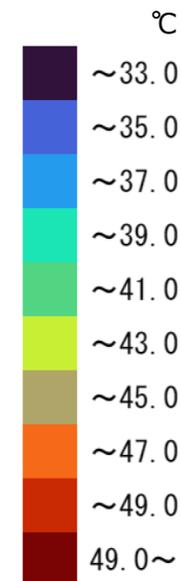
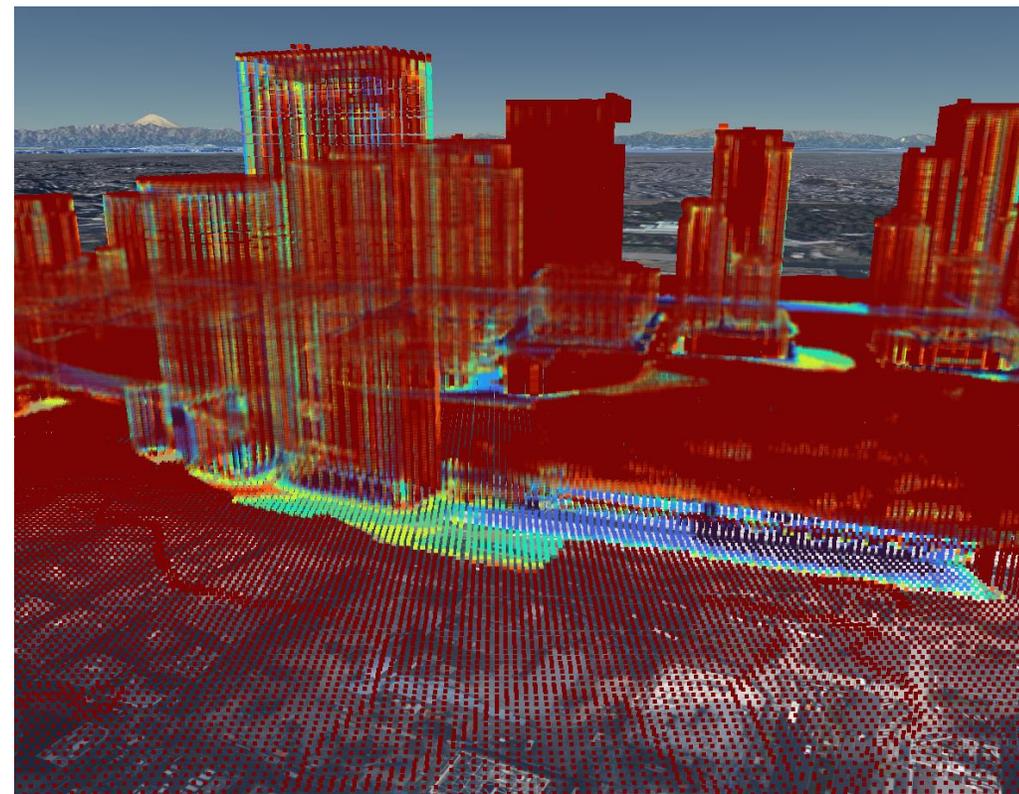
#### iii. 検証結果

ヒートアイランド対策の前後で建物表面温度に大きな差異は見られないが、地表面温度が変化しているエリアがお濠沿いに広がることを確認できる。建物表面、地表面の温度変化を同時に把握することが可能となる。

表面温度（ヒートアイランド対策なし）



表面温度（ヒートアイランド対策あり）



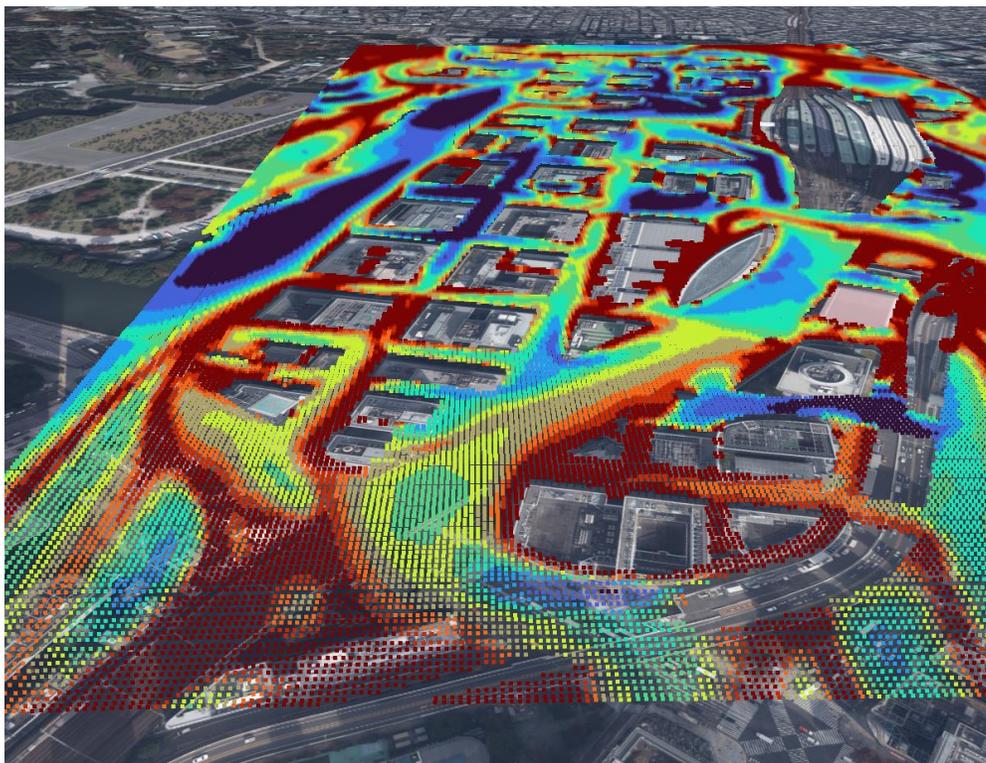
# IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

## ② 検証結果 | 3次元可視化

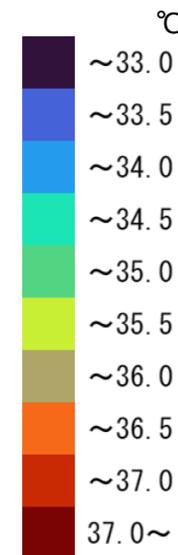
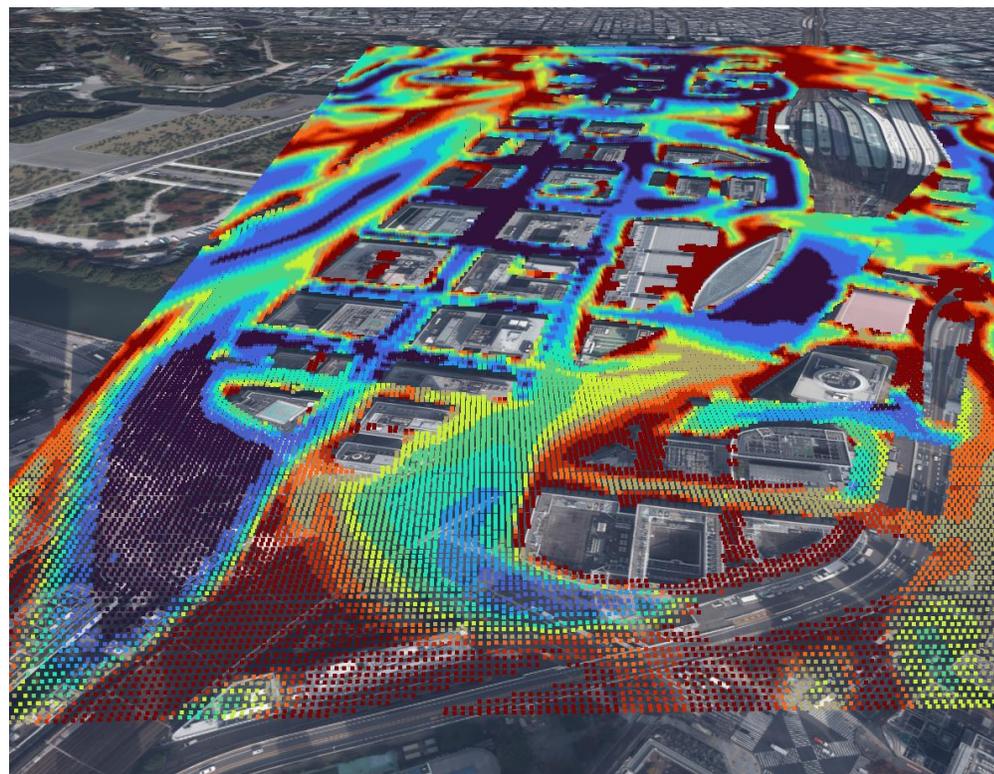
### iii. 検証結果

地上1.5m高さの温度はヒートアイランド対策を講じることで、図の中央部の格子状の街路の温度が低下している。対策の効果が土地利用の実態と合わせて視覚的により詳細に確認することができる。

地上高さ1.5m温度（ヒートアイランド対策なし）



地上高さ1.5m温度（ヒートアイランド対策あり）



## IV. 実証技術の検証 > 2.政策活用に向けた検証

### ① 検証内容 | 有識者意見聴取

#### 検証方法概要

<b>目的</b>	ヒートアイランドシミュレーション結果の政策的な活用への議論 (検討会の議論の一項目として)
<b>実施期間</b>	令和4年10月27日 10時から12時
<b>実施場所</b>	東京都千代田区
<b>主な参加者</b>	有識者委員 7名、オブザーバー 7名
<b>実施内容</b>	第3回千代田区ヒートアイランド対策計画見直し検討部会*にて、ヒートアイランド対策実施による効果を示し、区の今後のまちづくりにおける対策検討への適用性を議論。

#### \*部会委員

三坂 育正 日本工業大学 建築学部 建築学科 教授 部会長  
 山口 隆子 法政大学 文学部 地理学科 准教授  
 三友 奈々 日本大学 理工学部 土木工学科 助教  
 村上 公哉 芝浦工業大学 建築学部 建築学科 教授  
 村木 美貴 千葉大学大学院 教授  
 水原 健介 環境省 水・大気環境局 大気環境課 大気生活環境室長  
 古舘 将成 東京都 環境局 気候変動対策部 環境都市づくり課長  
 印出井 一美 千代田区 環境まちづくり部長

#### \*オブザーバー

武藤 智宣 中央区 環境土木部 環境課長  
 瀧澤 真一 港区 環境リサイクル支援部 地球温暖化対策担当課長  
 小野川 哲史 新宿区 環境清掃部 環境対策課長  
 渡邊 了文 文京区 資源環境部 環境政策課長  
 杉光 邦彦 台東区 環境清掃部 環境課長  
 山崎 崇 千代田区 保健福祉部 地域保健課長  
 谷田部 継司 千代田区 環境まちづくり部 道路公園課長  
 前田 美知太郎 千代田区 環境まちづくり部 景観・都市計画課長  
 神原 佳弘 千代田区 環境まちづくり部 地域まちづくり課長  
 千賀 行 千代田区 政策経営部 災害対策・危機管理課長

# IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用に向けた検証

## ② 検証結果 | 有識者意見概要

### 意見概要

第3回千代田区ヒートアイランド対策計画見直し検討部会において、現状・課題把握の一項目としてシミュレーション結果を提示し、3D都市モデル活用の有効性、今後の施策への活用について議論頂いた。

#### <部会委員からの主な指摘>

- 実際の街区を対象としているため、可視化された結果は大変わかりやすいものになっている。
- 計算結果の検証が必要だが、表示自体は大変わかりやすい。
- 3D都市モデルは、解析を進める上での形状入力の簡素化などの面で大変有効なツールになり得る。その上で、解析に当たっての条件や解析結果の検証など、精度向上に必要なことはきちんと提示すべき。
- 解析に当たっての詳細な条件設定と合わせて評価する必要があるが、実街区を対象とした解析を行う際に、要する時間が短縮される、結果の表示がわかりやすいなどのメリットがあることは確認できた。
- 作業が簡易化できることは良いことだが、それに伴い精度が低下しないための方策や、境界条件として必要な情報のデータベース化などが必要である。
- 再開発等を行う場合に、事前に検証できれば、適切な対策を選択することが可能である。

資料2  
令和4年10月27日  
千代田区ヒートアイランド対策計画  
見直し検討部会  
環境政策課

#### 千代田区ヒートアイランド対策計画の見直しへ向けた 現状調査、検証内容について

千代田区ヒートアイランド対策計画見直し検討部会のご意見を踏まえ、千代田区のヒートアイランド現象に関する現状調査等を実施した。

◆現状調査・検証内容	
[対策計画の検証]	
1. 千代田区ヒートアイランド対策計画に関する取組みの検証	・・・ P1
2. 千代田区のヒートアイランド現象の要因とその影響度の検証	・・・ P1
3. 国及び東京都、他自治体の動向調査	・・・ P2
[ヒートアイランド現象に関する現状調査等]	
4. 熱分布調査（航空機観測）	・・・ P4
5. 気温観測及び暑さ指数（WBGT）観測	・・・ P9
6. ヒートアイランド対策実施箇所の検証	・・・ P18
7. 夜間のヒートアイランド現象の課題把握	・・・ P29
8. 再開発エリアに関する検証	・・・ P32
9. 樹木の成長に伴う緑陰効果の検証	・・・ P34
10. 周辺地域とのヒートアイランド現象の比較	・・・ P35
11. 3D都市モデル（PLATEAU）による検証	・・・ P38



会議風景

### 議事次第

## IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用に向けた検証

### ② 検証結果 | 有識者アンケート

#### KPIの達成状況

KPI	KPIの評価方法	達成度・結果
①シミュレーション結果の可視化によるヒートアイランド対策効果の把握がしやすいとの回答50%以上	千代田区ヒートアイランド対策計画見直し検討部会委員へのアンケート	ヒートアイランド対策効果の把握がしやすいとの回答は50%（6人中3人）
②今後の検討対策を行う上で有効な手段・ツールであるとの回答50%以上	千代田区ヒートアイランド対策計画見直し検討部会委員へのアンケート	有効な手段・ツールであるとの回答は67%（6人中4人）

## IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用に向けた検証

### ② 検証結果 | 有識者意見

#### 検証結果

項目	成果	課題
ヒートアイランドシミュレーションの理解のしやすさ	実際の街区を使用し、3次元表示をしているため、解析結果を理解しやすい。	ヒートアイランド対策の効果を理解しやすくするためには、3次元での温度表示に留まらず、温度の差分の表示や一定量の温度変化のある区域の表示など、定量的な見せ方の工夫が必要。
ヒートアイランド対策の効果	実際に対策を行うにはコストがかかるが、シミュレーションであれば容易に試すことができる。 再開発計画において事前にシミュレーションすることで効果的な対策を講じうる。	実測と比較するなど精度向上が必要。 対策ごとにシミュレーションを行い、それぞれの効果を明らかにしたうえで、個々の立地・計画に応じた対策を講じることが必要。 詳細形状、属性情報等の活用にはLOD2の区域拡大が必要。

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

**V. 成果と課題**

## V. 成果と課題 > 1. 今年度の実証で得られた成果

### ① 3D都市モデルによる技術面での優位性 | サマリ

項目	想定される技術面での優位性
建物形状のモデル構築作業負荷の低減	3D都市モデルの活用により、データ購入や建物計画の情報収集等を行う必要なく、建物形状の設定が可能となる。これにより、ヒートアイランドシミュレーションに必要な建物モデルの作成時間、作業負担を4割程度削減すると見込まれる。
排熱環境の設定精度の向上	LOD2以上の詳細な建物形状を活用することで、風環境、日照条件を簡易に精度高く設定できるほか、建物属性情報から建物ごとに用途が判別でき、広域であっても建物ごとに排熱条件を設定することが可能となり、シミュレーションの精度向上に寄与する。

## V. 成果と課題 > 1. 今年度の実証で得られた成果

### ② 3D都市モデルによる政策面での優位性 | サマリ

項目	想定される政策面での優位性
再開発計画への反映	今後想定される再開発計画を反映し、効果を事前にシミュレーションすることで3D都市モデルの効果、ヒートアイランド対策の事前検討に活用することが可能となる。
シミュレーション結果の理解の向上	別途実施しているヒートアイランド現象の現地計測とシミュレーション結果を比較検証することで、前提条件の設定、シミュレーションの精度向上を図ることで、他の地域でも現状推定が可能となり、簡易に現状想定ができるほか、住民、関係者に現状、対策の必要性の理解を図ることが可能となる。
簡易な対策検討	温度のシミュレーションまで実施せずとも、3D都市モデルを活用して簡易に日影MAPを作成することができれば、ヒートアイランド対策検討の一助となる。

# V. 成果と課題 > 2. 今後の取り組みに向けた課題

## 今後の取り組みに向けた課題

項目	活用にあたっての課題
植生情報の反映	街路樹及び公園・広場等の植栽について、LOD 2 相当の樹高・樹冠に加え、3 D都市モデルに樹種の情報を加えることで、日射の透過・反射・吸収の値の設定が容易になる。
道路舗装種別の反映	LOD3相当の情報（歩道/車道の区分）に加えて、舗装の種別（保水性、遮熱性等）の情報を3 D都市モデルに加えることで、ヒートアイランドシミュレーションに必要な、舗装の違いによる日射の反射・吸収率の設定が容易になる。
建物属性の細分化	排熱の設定を建物属性に基づいて行ったが、商業施設とオフィスが混在するような建物の場合に現状ではどちらか一つの属性が設定されているため、建物用途の属性を2つ以上設定可能とし、それぞれの容積比の情報があれば排熱設定の精度を高めることができる。
属性情報のインポート	各建物の属性（用途）を手作業で確認し、排熱条件を設定したが、3 D都市モデルの属性情報のインポート機能を開発することで更なる効率化が可能になる。

# 用語集

	用語	内容
英数字	3DTiles	ウェブブラウザ上でシームレスに3次元表示が可能なポリゴンデータ形式
	ASHRAE	アメリカ暖房冷凍空調学会
	CFD	Computational Fluid Dynamicsの略であり、「計算流体力学」のこと。流体の運動や熱の移動の数値計算を行うもので「数値流体力学」と呼ばれることもある。
	CSV形式	カンマで区切ったテキスト形式のファイル。
	FME Desktop	空間データ統合ツール。大量のデータの変換・加工処理を自在に組み合わせ、ニーズに合わせた独自の処理フローを作成してデータを変換
	Lasファイル	LIDARによって収集される点群データを格納するバイナリファイル。
	OBJ形式	三次元形状を表現するデータを保存するファイルフォーマットの一つ。形状だけでなく、テクスチャも保持できる。
	scSTREAM	既存のパッケージソフトウェアであり、30年以上の実績を誇る汎用流体解析プログラムで圧倒的な使い易さと高速演算が特徴。
	Stlファイル	三次元形状を表現するデータを保存するファイルフォーマットの一つ。
ア行	暑さ指数(WBGT)	暑さ指数 (WBGT (湿球黒球温度) : Wet Bulb Globe Temperature) は、熱中症を予防することを目的として1954年にアメリカで提案された指標。
サ行	遮熱性舗装	路面温度の上昇につながる赤外線を高反射することで、路面温度の上昇を抑制する舗装。
タ行	ドライミスト	水を微細な霧の状態にして噴射し、蒸発する際の気化熱の吸収を利用して主に地上の局所を冷却する装置。
ナ行	日射反射率	300~2,500nmの波長域の反射率を表すもの。
	日射吸収率	300~2,500nmの波長域の吸収率を表すもの。
マ行	マトリックスソルバー	大規模な連立一次方程式を解く手法。マトリックス解法は連立1次方程式を直接変形し、有限回の演算で解を得る直接法と連立1次方程式に適切な初期値を代入し、得られた結果を繰り返し元の方程式に代入することで解を得る反復法に大別される。方程式系の規模や性質から、熱流体解析では通常、反復法が用いられる。
ハ行	ヒートアイランド	人間活動が原因で都市の気温が周囲より高くなること。高温域が都市を中心に島状に分布する現象。
	保水性舗装	雨水や散水により舗装体内に保水された水分が蒸発する時の気化熱で路面温度の上昇を抑制する性能をもつ舗装。

# ヒートアイランド・シミュレーション 技術検証レポート

**令和5年3月 発行**

**委託者：国土交通省 都市局 都市政策課**

**受託者：エムシーソフトウェア株式会社**

本報告書は、エムシーソフトウェア株式会社が国土交通省との間で締結した業務委託契約書に基づき作成したものです。受託者の作業は、本報告書に記載された特定の手続や分析に限定されており、令和5年3月までに入手した情報にのみ基づいて実施しております。従って、令和5年4月以降に環境や状況の変化があったとしても、本報告書に記載されている内容には反映されておられません。