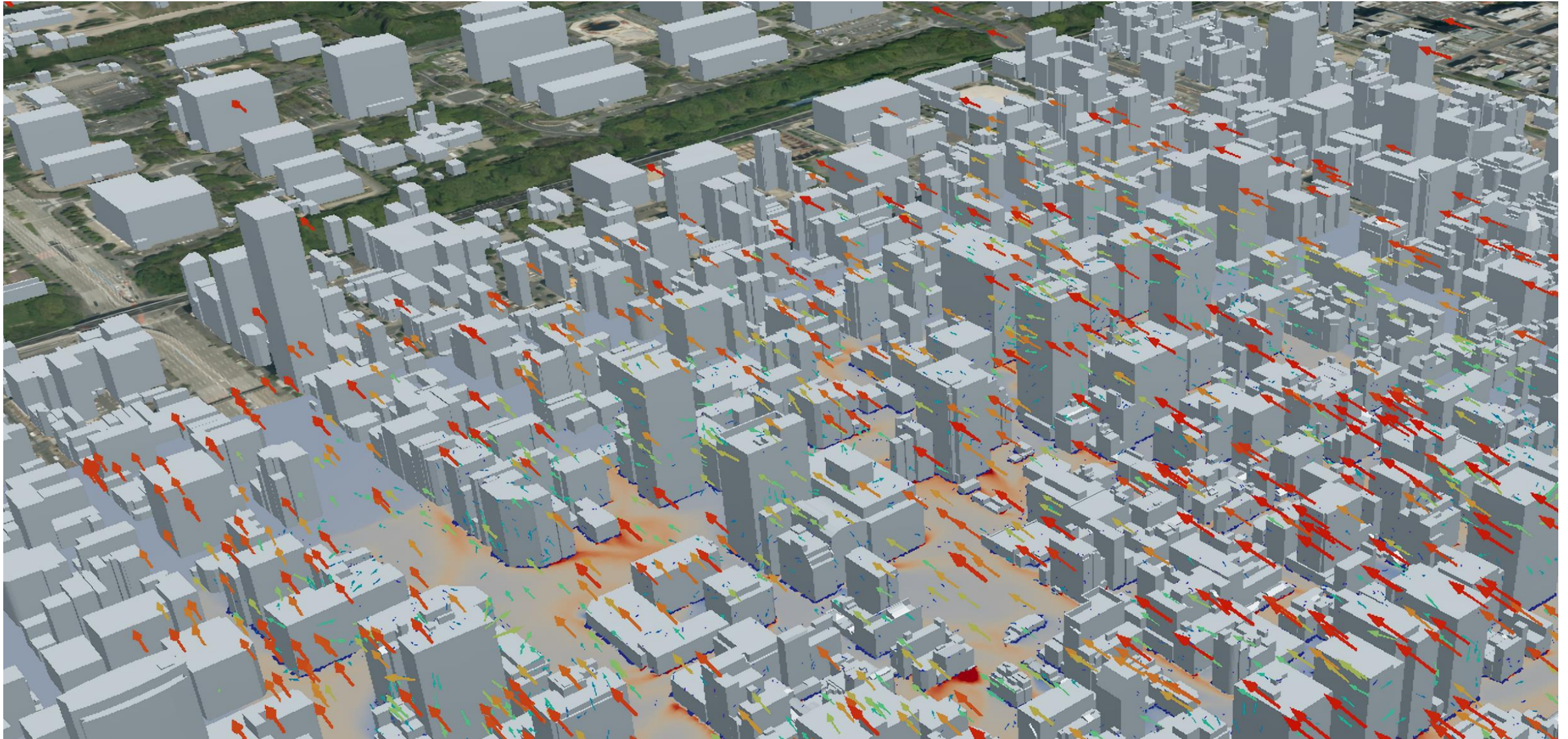


3D都市モデルを活用した気候変動影響シミュレーション技術検証レポート

Technical Report for Climate Change Impact Simulation by Using 3D City Model



PLATEAU
by MLIT



目次

I. 実証概要	2		
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		
II. 実証技術の概要	8		
1. 活用技術	9		
2. Altair AcuSolve	10		
3. CityGMLファイル変換	11		
4. Altair HyperMesh	12		
5. Altair HyperWorks CFD	13		
III. 実証システム	14		
1. 実証フロー	15		
2. 業務要件	16		
3. アーキテクチャ全体図	17		
4. システム機能	19		
5. アルゴリズム	29		
6. データ	36		
① 活用データ	36		
② データ処理	41		
③ 出力データ	42		
		7. ユーザインタフェース	45
		8. システムテスト結果	60
		IV. 実証技術の検証	61
		1. システム検証	62
		① 検証内容	62
		② 検証結果	64
		2. 政策活用に向けた検証	93
		① 検証内容	93
		② 検証結果	96
		V. 成果と課題	100
		1. 今年度の実証で得られた成果	101
		① 3D都市モデルによる技術面での優位性	101
		② 3D都市モデルによる政策面での優位性	102
		2. 今後の取り組みに向けた課題	103
		用語集	104

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

ユースケース名	3D都市モデルを活用した気候変動影響のシミュレーション
実施場所	名古屋市中区錦二丁目地区、西東京市
目標・課題 ・創出価値	年々厳しさを増す暑熱対策には、樹木などによる日陰の創出、緑地や農地の配置など地区スケールの適応策が重要であり、建築物や敷地の対応、公共空間の再編・再整備などに市民・行政・企業・研究機関などが連携して取り組む多主体協働型のまちづくりが効果的である。このようなまちの課題に共通の認識を持って対策を検討・実践するためには、非専門家を含む様々なステークホルダーが将来的な気候変動の影響を考慮した温熱環境を把握する必要がある。 今回のユースケース開発により、自治体やエリアマネジメント団体が気候変動適応に向けたまちの課題を共有し、地区スケールでの施策を検討する際の汎用的な知見を創出することで、全国のまちづくりにおいてエビデンスに基づく合意形成や取組が行われる社会の実現を目指す。
ユースケース の概要	本ユースケースでは、名古屋市中区錦二丁目および西東京市という異なる特徴をもつエリアを対象とし、3D都市モデルから市街地空間の建物形状と土地利用を把握し、数値流体力学（CFD; Computational Fluid Dynamics）に基づく温熱環境シミュレーションを実施することで、現在から将来にかけて予想される気候変動が屋外環境に及ぼす影響を解析する。さらに、環境実測に得られた結果と比較・検討することによりシミュレーション結果の妥当性を検証する。

I. 実証概要 > 1. 全体概要

全体概要



実証仮説	従来、CFDによる温熱環境シミュレーションに必要な建物や地形データの入手は容易でなく、地域のまちづくりにおいて議論の対象とすることは難しかった。 オープンデータである3D都市モデルを活用することで、温熱環境シミュレーションが容易かつ効率的になるとともに、その形状・属性情報を用いて日影や材質を考慮することでシミュレーションは精緻化される。更に、シミュレーション結果を共有しながら将来の温熱環境を考慮したまちづくりの議論が可能となるだけでなく、3D都市モデルを用いた可視化により地域まちづくり関係者の理解・合意形成促進にも役立つ。
検証ポイント	シミュレーション結果の妥当性検証のため、名古屋市錦二丁目と西東京市の各地点における環境実測調査を実施する。測定項目は気温、湿度、黒球温度、風向・風速、表面温度である。 これらのデータを基にシミュレーション結果と実測結果を比較し、将来環境の予測に向けた精度の検証を行う。

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
株式会社 三菱総合研究所（MRI）	プロジェクトマネジメント ・ユースケース実証に係る連絡・調整。
東京大学 大学院工学系研究科 都市工学専攻 都市計画研究室	ユースケース実証 ・環境実測データ及び知見の提供。 ・シミュレーションに関する知見提供。 ・検証成果の論文化・発表、他の調査研究における活用。
アルテアエンジニアリング株式会社(Altair)	ユースケース実証 ・プロジェクト管理、シミュレーション実施。
一般社団法人 環境情報科学センター	環境実測 ・環境実測の実施およびデータ提供。
現地自治体・団体 （名古屋市、西東京市）	協力 ・実証実験対象場所提供への協力。 ・ユースケース結果の共有・意見交換。

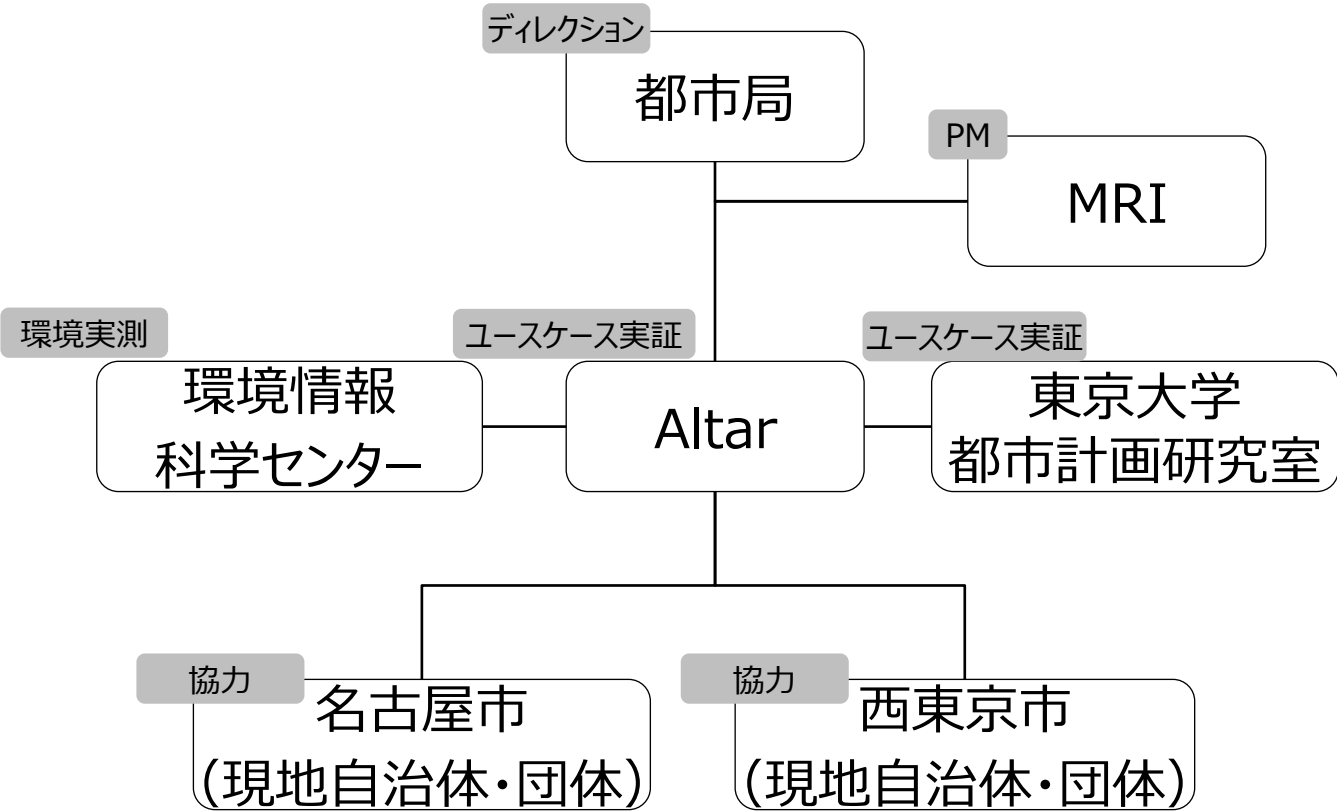


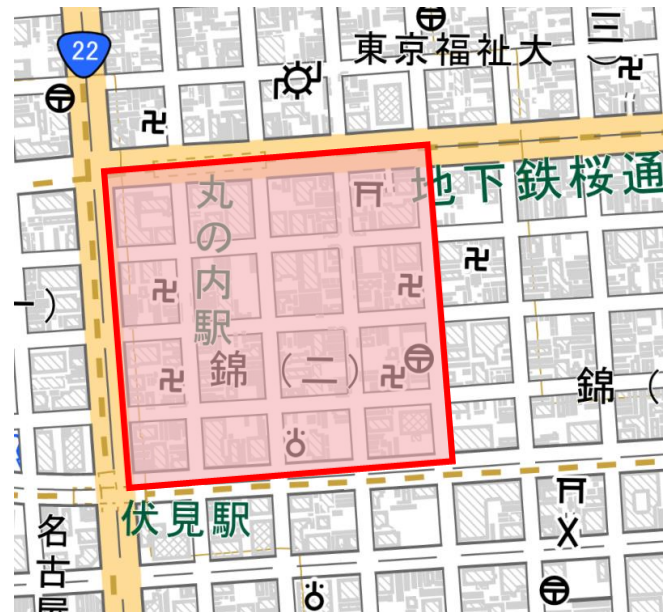
図 実施体制図

I. 実証概要 > 3. 実証エリア

実証エリア

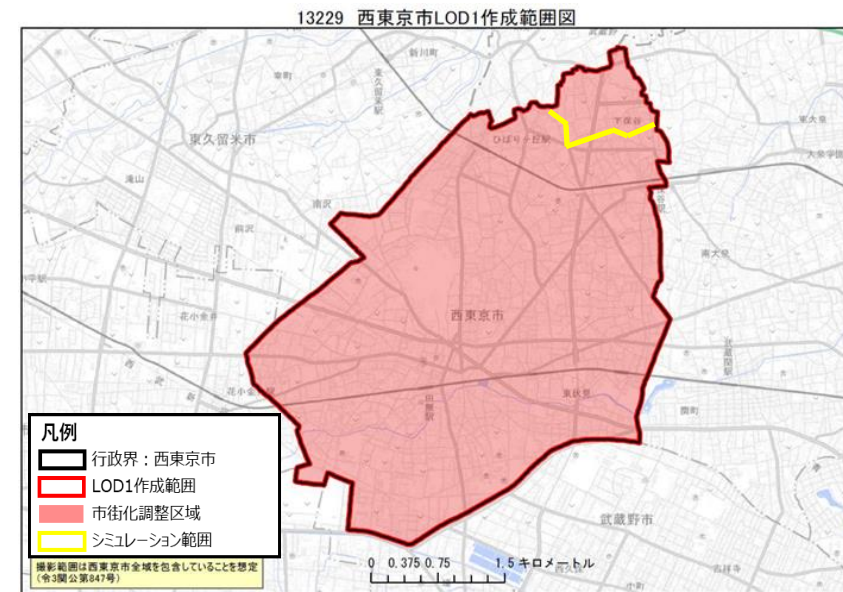
名古屋市中区錦二丁目/ 西東京市

【市街部】名古屋市中区錦二丁目



(対象面積 : 9.38km²)

【近郊市街地部】西東京市



(対象面積 : 15.85km²)

出典 : <https://plateauview.mlit.go.jp/>

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. 実施計画書作成	1.1. 実施計画書（案）の作成													
	1.2. 国土交通省等との協議・調整													
	1.3. 実施計画書の完成・確定													
	1.4. 実施計画書に基づく進捗確認・更新													
2. データ取得	2.1. 3D都市モデルの整備内容検討・調整													
	2.2. 3D都市モデルの整備													
3. システム設計・開発	3.1. 3D都市モデルからシミュレーションモデルへの変換（名古屋市、西東京市）													
4. ユースケース開発	4.1. 実証試験を実施できるエリアの選定（西東京市）													
	4.2. 実証（実測）実施（名古屋市、西東京市）													
	4.3. 実証（シミュレーション）実施（名古屋市、西東京市）													
	4.4. 実測及びシミュレーション結果の考察と適応策の検討（名古屋市、西東京市）													
5. 事業成果とりまとめ	5.1. 事業成果報告書の作成													
	5.2. ユースケースデータの整理提供													
	5.3. 実証実験の成果報告（ワークショップ開催）													

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
Altair AcuSolve	Altair HyperWorks CFDで作成されたシミュレーションモデルから、ナビエストークス方程式を有限要素法で離散化し、コンピュータによる反復計算を用いて要素毎の流れ方程式の近似解を求め、3次元の温度及び風速データを求め、気候変動影響シミュレーションを実施する。
CityGMLファイル変換	CityGMLの建物形状、地形形状を抽出し、CADデータ（STLファイル）への変換を行う。 アルテアエンジニアリング社製品への実装予定の機能を取り出し利用する。
Altair HyperMesh	STLファイルに変換された地形データと建物データを結合する。 結合された3D都市モデルに解析領域（建物上空エリア）を付加し、シミュレーションモデルを構築する。
Altair HyperWorks CFD	Altair HyperMeshで作成されたシミュレーションモデルから、AcuSolveで使用する離散化要素（メッシュ）作成、必要な解析条件を付加する。また、AcuSolveで得られた温熱環境シミュレーション結果を可視化し、画像ファイル、テキストファイルなどで結果を出力する。

Ⅱ. 実証技術の概要 > 2. Altair AcuSolve

Altair AcuSolveの概要

概要

AcuSolve

項目	内容
名称	Altair AcuSolve
概要	Altair AcuSolveは、有限要素法（FEM）ベースの汎用熱流体解析ソルバーであり、本実証に必要な各種物理モデル（乱流、日射）を搭載している。
主な機能	熱流体解析シミュレーション。
利用する機能	- 熱流体解析シミュレート。（Altair AcuSolve） - シミュレーションの設定、結果表示。（Altair HyperWorks CFD）

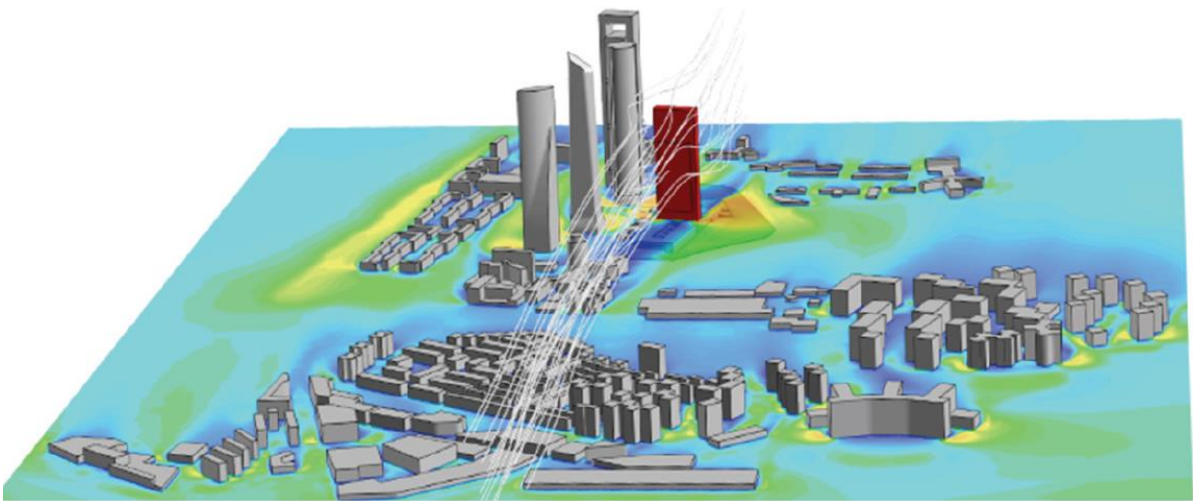


図 地区スケールでの解析例

Ⅱ. 実証技術の概要 > 3. CityGMLファイル変換

CityGMLファイル変換の概要



概要

CityGMLファイル変換

項目	内容
名称	CityGMLファイル変換
概要	CityGMLをアルテアエンジニアリング社が開発中のCityGML変換ツールの一部機能を利用し、STL（Stereolithography）ファイルに変換及び、編集しシミュレーションに利用する。
主な機能	- 座標変換。 - ポリゴン形式(STL)への変換。 - 形状編集。
利用する機能	同上。

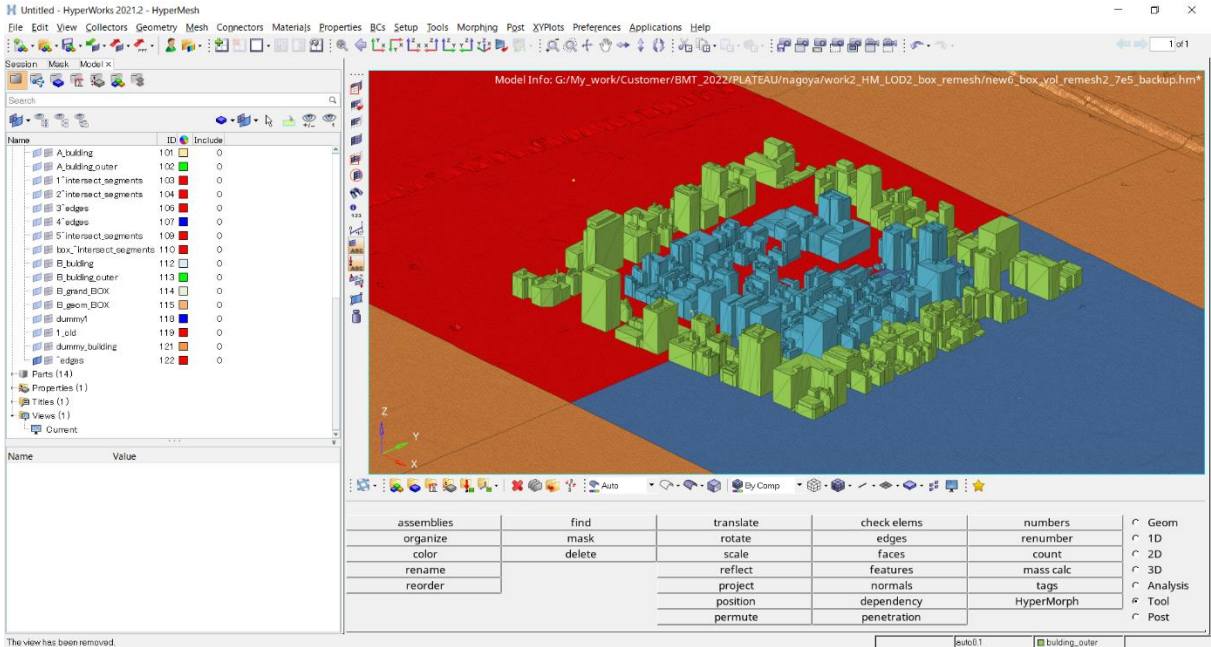


図 STLファイルに変換された3D都市モデル

Ⅱ. 実証技術の概要 > 4. Altair HyperMesh

Altair HyperMeshの概要

概要

項目	内容
名称	Altair HyperMesh
概要	Altair HyperMeshは、シミュレーションのための有限要素法モデルを高速かつ効率的に作成する汎用プリ・ポストシステムで、本実証に必要な各種形状編集機能を搭載している。
主な機能	- STLファイルの読込。 - ポリゴン形式データの編集。 - 形状作成。
利用する機能	同上。

Altair HyperMesh

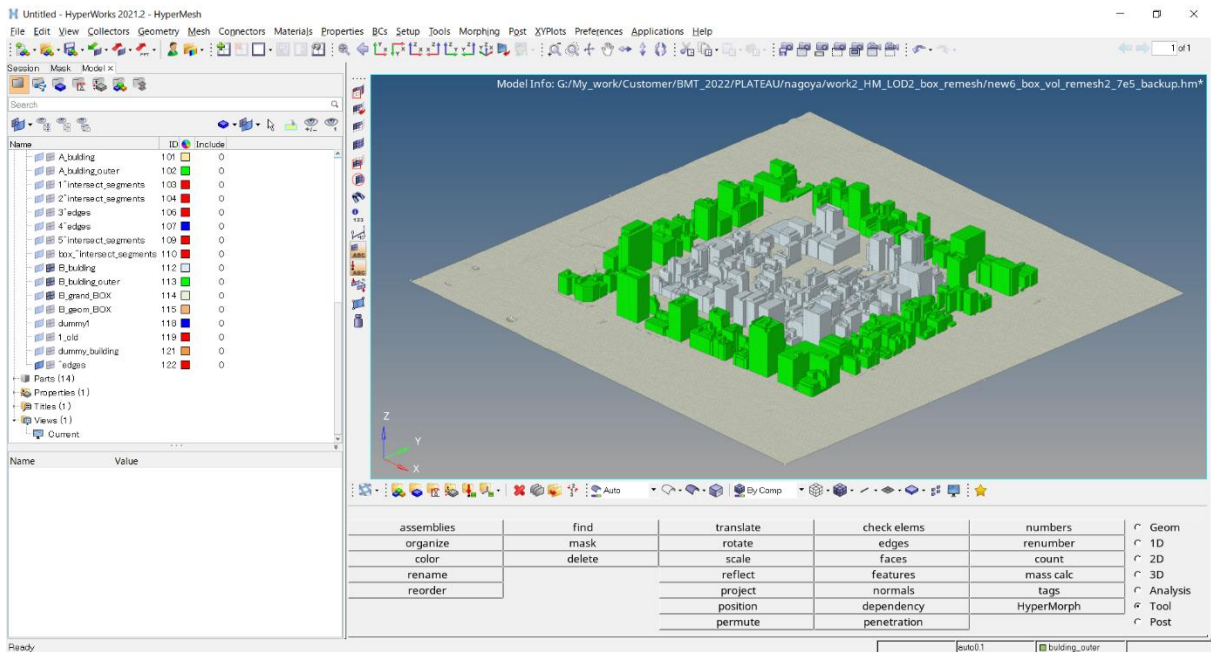


図 HyperMeshで編集された3D都市モデル

Ⅱ. 実証技術の概要 > 5. Altair HyperWorks CFD

Altair HyperWorks CFDの概要

概要

項目	内容
名称	Altair HyperWorks CFD
概要	熱流体解析シミュレーションの設定、計算実行、可視化などをおこなう。
主な機能	- 離散化要素（メッシュ）分割。 - シミュレーションに必要な諸元定義。 - シミュレーションで得られた結果の可視化、画像ファイル出力。
利用する機能	- 物理モデル（乱流、日射）の設定。 - 出力項目設定。 - 熱流体解析設定（気象データや、建物と地面の境界条件）。

Altair HyperWorks CFD

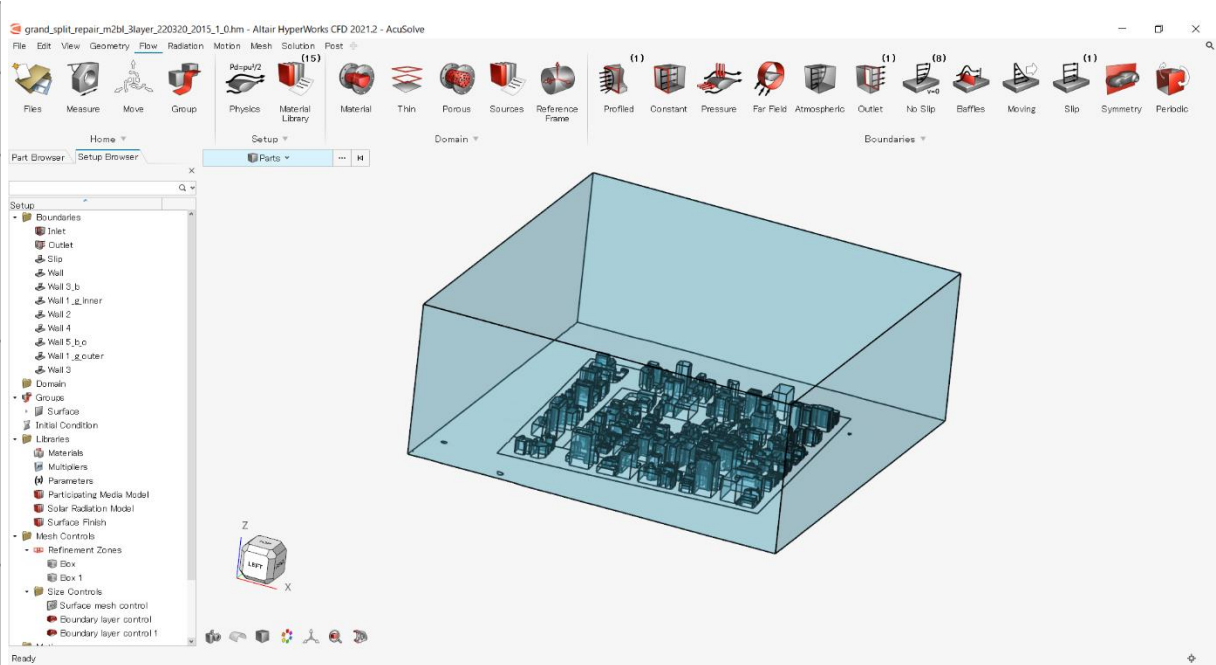


図 HyperWorks CFDで作成されたシミュレーションモデル

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

3D都市モデルから作成した建物・地形を含む解析モデルにより気候変動影響シミュレーションを実施し、実測結果との比較により精度を確保したうえで、まちづくりにおけるシミュレーションの有用性について現地自治体・団体と議論する。

3Dモデル変換

- 対象となる地区建物とその近隣地面の3D都市モデル（LOD1またはLOD2）を、アルテアエンジニアリング社製品への実装予定機能を抽出してCADデータ（STLファイル）へ変換する。

シミュレーションの実施

- STLファイルに変換された建物データと地形データを結合し、結合された3D都市モデルに解析領域（建物 & 地面上空エリア）を付加し、シミュレーションモデルを構築する。
- 作成されたシミュレーションモデルに必要な諸元（日射などの気象データ、建物や地面の境界条件）を設定する。
- 気候変動影響シミュレーションを実施し、解析領域内の温度および風速データを算出する。

環境実測

- 調査予定期間内の天候の状況に合わせて、候補日の中から最適なタイミングで環境実測を実施する。
 - シミュレーション結果との比較ができるよう適切な実証エリアを選定する。

結果比較

- シミュレーション結果と環境実測データ比較検討し、結果妥当性を検証し、解析モデルパラメータ改善などを行う。
- 技術検証方法としては、実測結果と、実測結果をベンチマークの基準データとし、本実証では実測とシミュレーションでの同一の地点での温度を比較する。

現地自治体・団体への協議

- 現地自治体・団体への報告・意見交換会を実施し、参加者によるディスカッションを実施する。
 - シミュレーション結果についてアンケートを実施し、本実証実験の有効性を検証する。
 - 意見公開会では、3D都市モデルを利用したシミュレーションが、都市計画・まちづくりに役立てられるかどうかをの意見聞き取りを行う。

Ⅲ. 実証システム > 2. 業務要件

業務要件

本検証の成果物は、自治体による地域気候変動適応計画の策定プロセス、および地域のまちづくり団体（都市再生推進法人など）によるエリアビジョンの策定プロセスにおいて寄与することを想定する。

◆自治体

実施項目	実施主体	実施事項概要
地域の気候変動影響の整理	自治体（環境部局など）	気候変動適応法に基づき自治体が気候変動適応計画を策定する際、気候変動適応情報プラットフォーム（A-PLAT）の公開する計画策定マニュアル※によれば、自治体は「将来の気候変動影響の整理」「影響評価の実施」を実施する必要がある。
気候変動影響シミュレーションの実施	自治体（環境部局など）	地域の気候変動影響の整理において暑熱分野の課題が整理された後、本検証の成果物による気候変動影響シミュレーションを実施し、地域の現在および将来の具体的な温熱環境の課題を可視化する。
気候変動適応計画の策定	自治体（環境部局など）	シミュレーション結果を基に気候変動適応策を検討し、地域気候変動適応計画へ反映する。

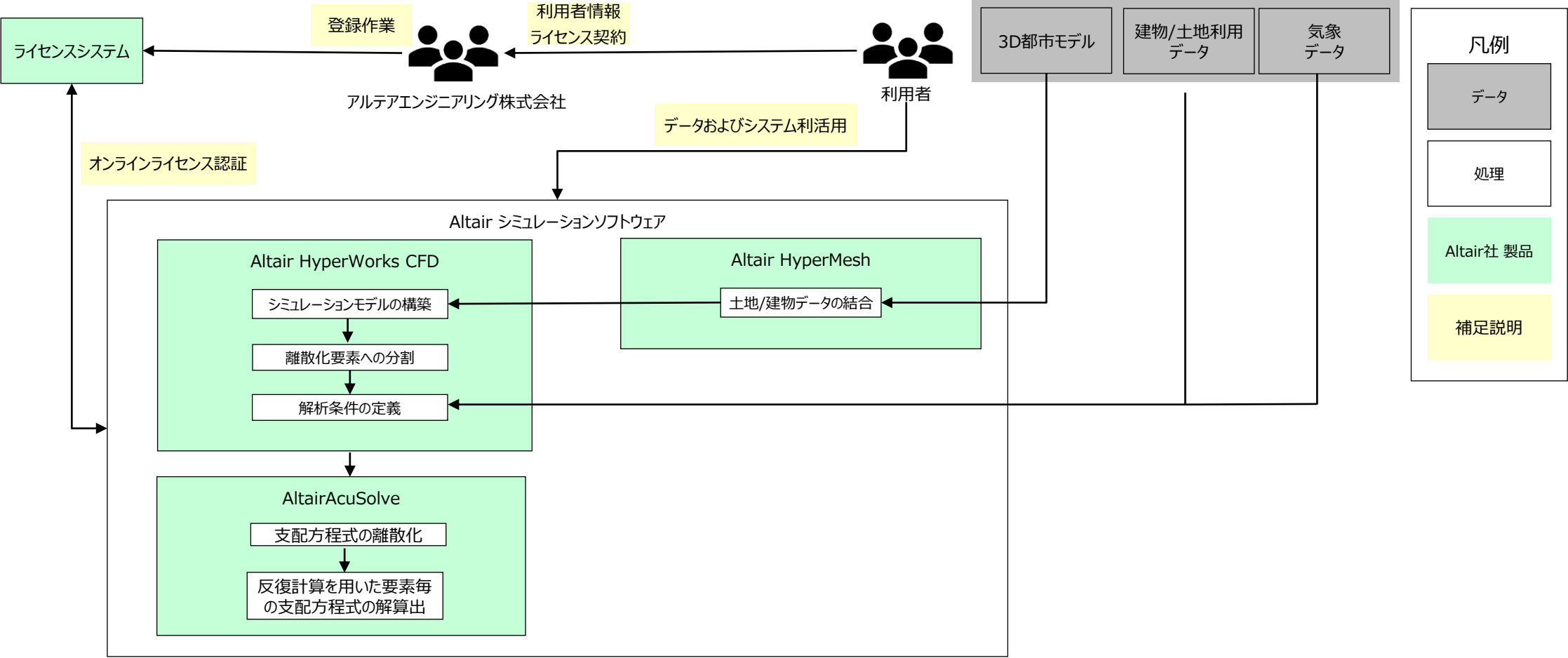
◆地域のまちづくり団体

※地域気候変動適応計画策定マニュアル（手順編）
https://adaptation-platform.nies.go.jp/local/plan/files/pdf/jichitai_manual_201811rev.pdf

実施項目	実施主体	実施事項概要
地域の気候変動影響の整理	まちづくり団体	地域のまちづくり団体が官民連携まちなか再生推進事業に基づく都市再生推進法人に指定されている場合、地域の未来ビジョン等の策定が求められる。それ以外の場合でも、地域の中長期的なエリアビジョンを策定することが望まれている。その上で、地域の気候変動影響に関する中長期的な課題を整理する。
気候変動影響シミュレーションの実施	まちづくり団体	地域の気候変動の課題に対して暑熱分野に着目する場合、本検証の成果物による気候変動影響シミュレーションを実施し、地域の現在および将来の具体的な温熱環境の課題を可視化する。
エリアビジョンの策定	まちづくり団体	シミュレーション結果を基に気候変動適応策を検討し、エリアビジョンへ反映する。

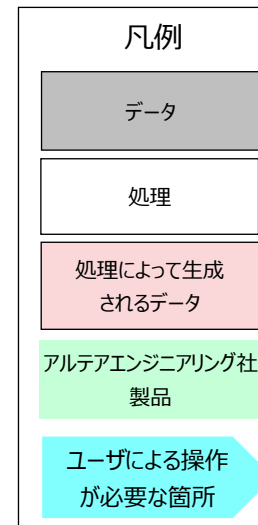
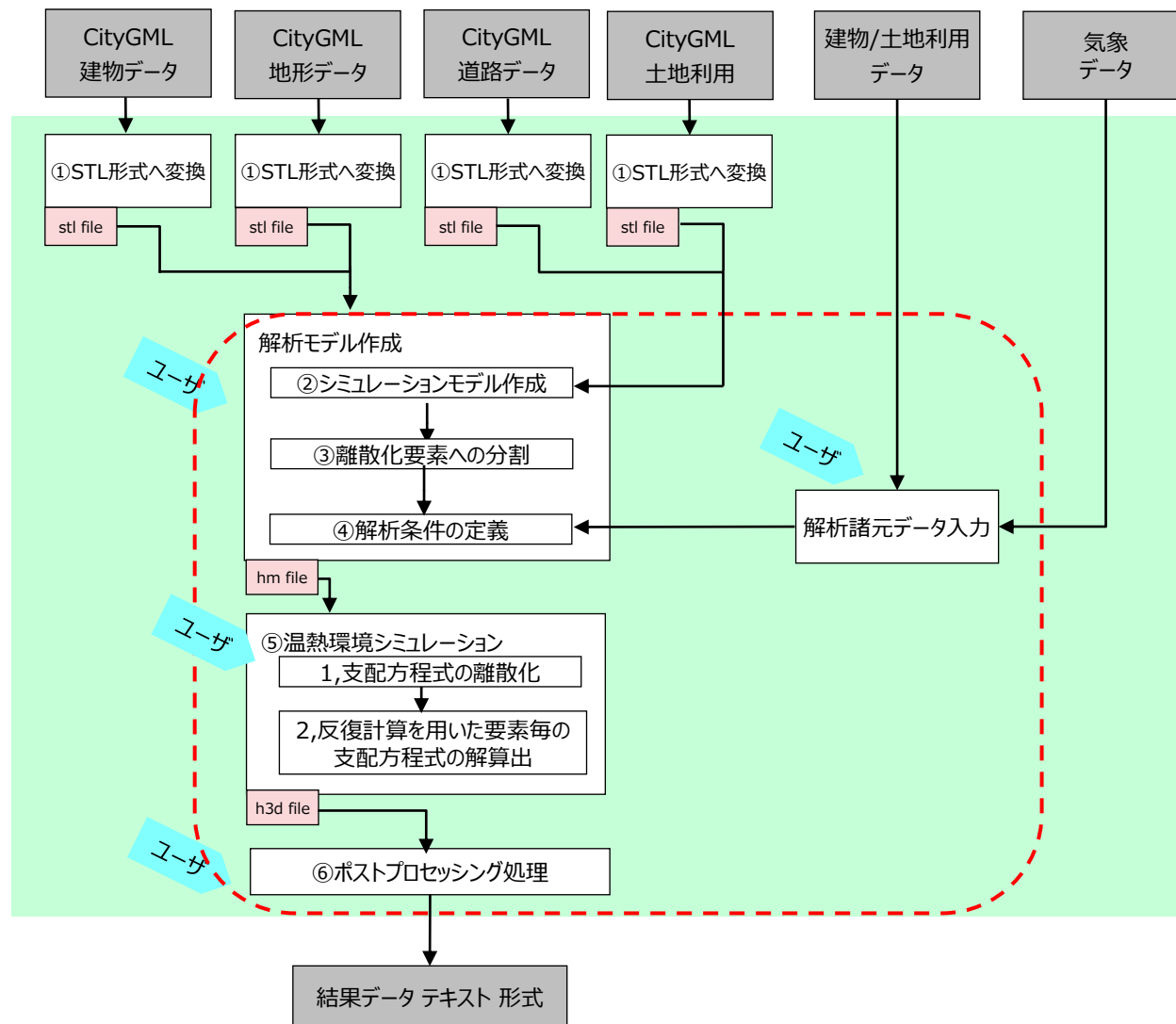
Ⅲ. 実証システム > 3. アーキテクチャ全体図

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



3D都市モデルから、変換処理によって生成されるデータの補足説明

STL file:
建物データ、地形データ、道路データ、土地利用をポリゴンデータとして変換

hm file:
アルテアエンジニアリング社製品用モデルファイルでありバイナリー形式。
AcuSolveの解析モデルデータが格納される

h3d file:
アルテアエンジニアリング社製品用結果ファイルでありバイナリー形式。
AcuSolveの解析結果データが格納される

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能



表 活用機能（製品）一覧

機能名	説明
CityGMLファイル変換	CityGMLを入力することで建物形状、地形形状を抽出し、CADデータ（STLファイル）への変換を行う。アルテアエンジニアリング社が開発中のCityGML変換ツールの一部機能を取り出し利用する。
HyperMesh	変換した地形データと建物データのSTLファイルを結合する。 結合された3D都市モデルに解析領域（建物上空エリア）を付加し、シミュレーションモデルを構築する。
HyperWorks CFD	HyperMeshで作成されたシミュレーションモデルから、AcuSolveで使用する離散化要素（メッシュ）作成、必要な解析条件を付加することができる。また、AcuSolveで得られた温熱環境シミュレーション結果を可視化することができ、画像ファイル、テキストファイルなどで結果を出力することも可能である。
AcuSolve	HyperWorks CFDで作成されたシミュレーションモデルから、ナビエストークス方程式を有限要素法で離散化し、コンピュータによる反復計算を用いて要素毎の流れ方程式の近似解を求め、3次元の温度及び風速データを求める。

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能 | CityGMLファイル変換

- 本実証では、P36の活用データ一覧で示した3D都市モデルのCityGMLをアルテアエンジニアリング社が開発中のCityGML変換ツールの一部機能を取り出して、STLファイルに変換しシミュレーションに利用する。
- その際の操作手順を下表に示す。

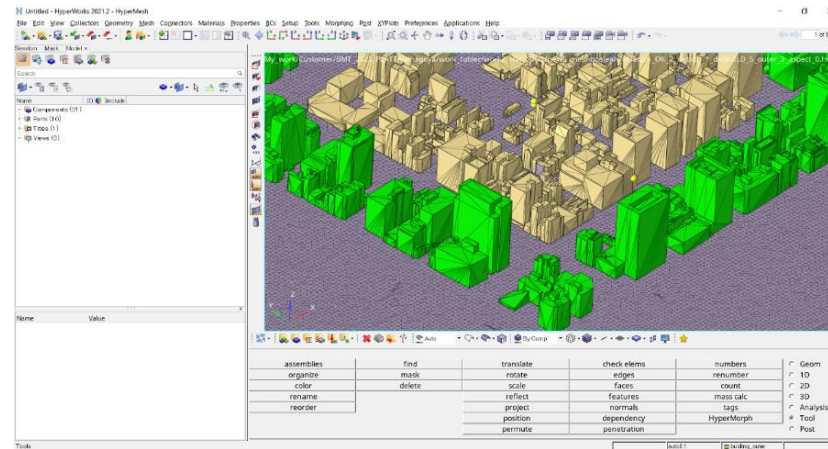
利用製品	項目	操作手順	入力データ	出力データ
Altair社製 CityGML変換プログラム	①ポリゴン形式へ変換	1:入力データファイルを選択 2:出力データファイル名を指定 3:UTMゾーンを指定 4:実行	CityGML (.gml)	ポリゴン形式 (.STL)

- 変換処理の際に、変換後の座標系を指定することが可能である。
- また、座標値はCityGML内の緯度、経度、高さの情報から取得し、読み込み範囲は各.gmlファイル単位で読み込みを行う。

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能 | HyperMeshによる建物と地形の結合

- 変換されたSTLデータは、地形・建物と分かれており、個々のSTLファイルは分解能や基準となる高度が異なり、そのままではシミュレーションモデルとして扱うことができない。このため、アルテアエンジニアリング社が提供するAltair HyperMeshを利用し、これらのSTLデータを1つの統合化したデータとする。
- HyperMeshではSTLファイルの読み込み、各三角形要素（ポリゴン）の編集、編集後データのメッシュデータへの書き出し作業などが可能である。

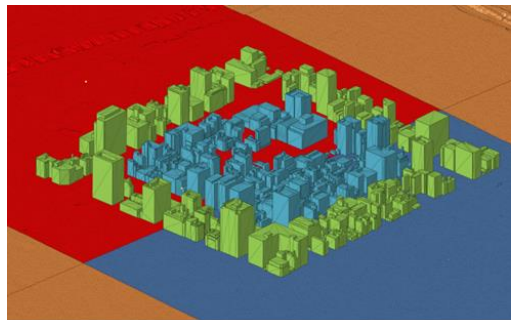


建築物LOD 2を変換したSTLファイルを読み込んだ様子

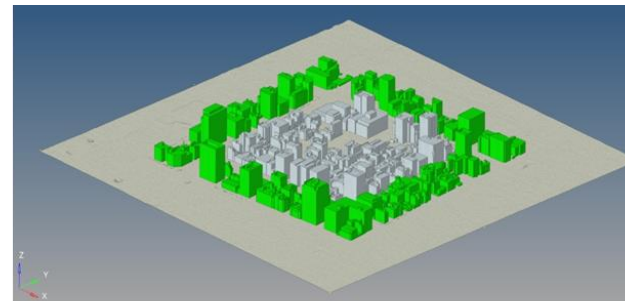
Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能 | HyperMeshによる建物と地形の結合

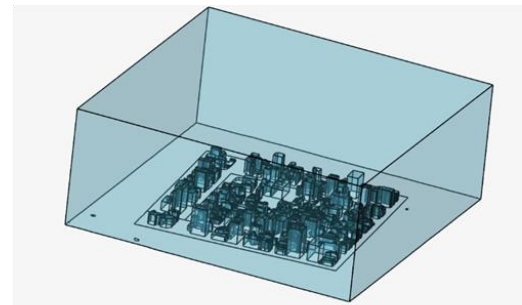
- 本実証ではHyperMeshを利用して、対象地域以外の建築物のデータを削除し、建築物と地形を結合する。HyperMeshで結合すると、建築物と地形に隙間（建物が浮いた状態）や陥没（地面にめり込んだ）状態になっている部分が出てくる。この箇所について、HyperMeshの編集機能を用いて手作業で結合・高さ調整の修正を行う。
- その後、シミュレーションに必要な面分割を行うため、道路や土地利用区分ごとにSTLデータを分割し、解析領域（建物上空エリア）を付加する。
- HyperMeshによる結合されたモデルを、各三角形要素（ポリゴン）の集合体であるメッシュデータとして出力し、HyperWorks CFDを用いてAcuSolveでの計算に必要な設定を付加したシミュレーションモデルを構築し、温熱環境シミュレーションに利用する。



建物データ+地形データ

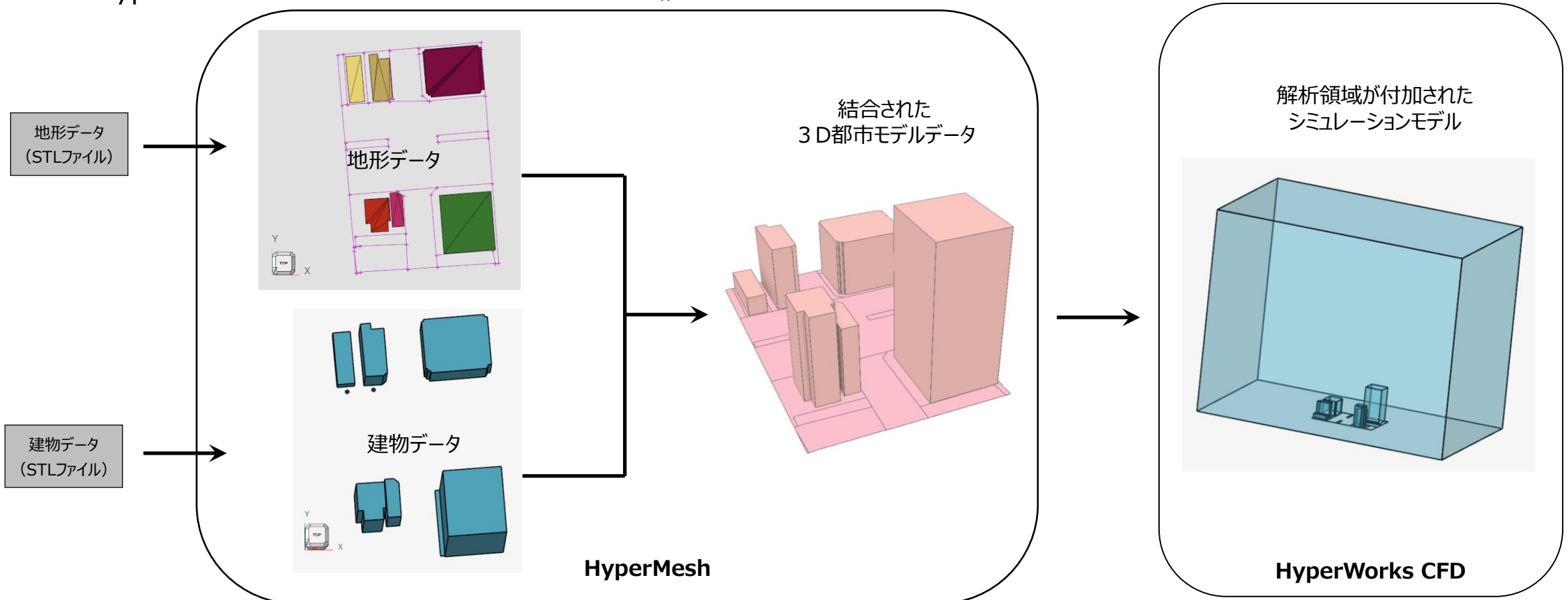


結合された3D都市モデルデータ



解析領域を付加したシミュレーションモデル

- STLファイルから、シミュレーションモデル構築時のHyperMeshとHyperWorks CFDのデータ処理フロー（役割）を示す。
 - HyperMesh : 変換された地形データと建物データを結合し、解析領域（建物上空エリア）を構築
 - HyperWorks CFD : シミュレーションモデルを構築



Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能 | AcuSolve

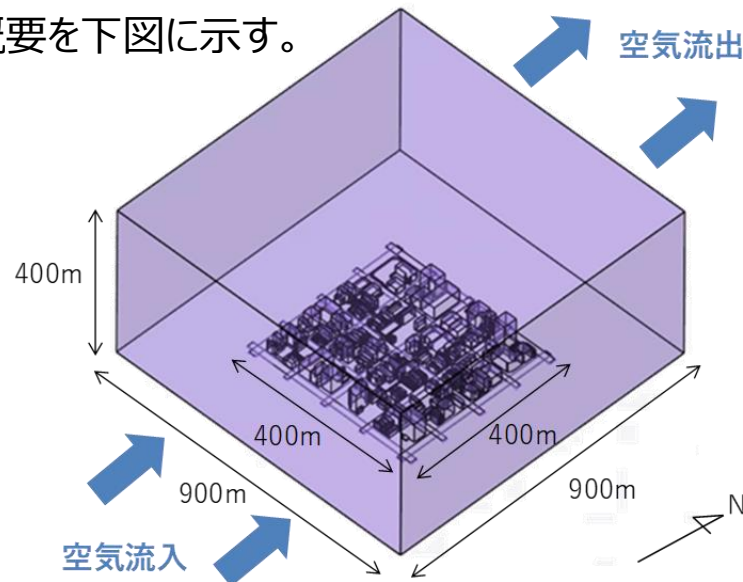
気候変動影響シミュレーション手法の概要

- 本実証では3D都市モデルの気候変動を再現するため、AcuSolveを用いて、数値流体力学に基づくシミュレーション技術を利用する。
- シミュレーションでは、ナビエストークス方程式と連続の方程式、およびエネルギーの方程式（熱伝熱）を有限要素法で離散化し、コンピュータによる反復計算を用いて要素毎の流れおよび温度の近似解を求める。
- インพุットデータとしては、3D都市モデルに基づく離散化モデル（メッシュデータ）と建築物・土地利用データ、および気象データ（気温、平均風速、太陽位置）を用い、シミュレーションのアウトプットデータとしては3次元の風速および温度データが得られる。なお、これらのアウトプットデータは、アルテアエンジニアリング社製品独自のバイナリー形式でのみ保存されているため、HyperWorks CFDを用いたポストプロセッシング処理により、画像データやテキストデータに変換し出力する。

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能 システム機能 | AcuSolve

気候変動影響シミュレーション手法の概要

- 名古屋市中区錦二丁目での実証を例に、シミュレーション手法の概要を示す。
- まず、3D都市モデルのCityGMLから地形・建物を含む解析データを作成し、その上に解析領域となる建物上空エリアを付加し、シミュレーションモデルを構築する。シミュレーションモデルは、実証エリアおよびその周辺のみ建物を付加し、その外側に空気の流入/流出を安定化させるためのバッファ領域として定義する。
- 次に、解析対象日時を規定し、気象条件を定義する。本シミュレーションで考慮できる物理要素は気温、日射量、風向・風速であり、気温と日射量は各ケースで変化させ、風向・風速は固定した。また、気温については、気象庁が公開する名古屋気象台の該当日時のデータを参照した。
- シミュレーションモデル概要を下図に示す。



CFD解法

- ・ CFDソフト : Altair AcuSolve (有限要素法)
- ・ 乱流モデル : Spalart-Allmarasモデル
- ・ 放射を考慮 (太陽放射、灰色体放射)

気象条件

経緯度	北緯 : 35.1732 東経 : 136.9005
日時	2021年8月4日 正午12:00 (実測日)
風速	南1.0m/s
気温	35.0°C (同日最高気温)

シミュレーションモデル概要 (名古屋市中区錦二丁目)

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能 | AcuSolve

気候変動影響シミュレーション手法の概要

- 本シミュレーションモデルでは建築物内部と地中はモデル化の対象外とし、解析空間内の気体との熱の移動については建築物表面・地表面の境界条件の設定により模擬する。
- このようなモデル化を行う際に重要な点として、建築物の表面材質やガラス面積割合を把握する必要があるが、3D都市モデルの建築物モデルLOD2及びLOD1ではこれらの情報は搭載されていないことから、都市計画基礎調査を由来とする建築物モデルの属性情報及び土地利用モデルを参照情報とし、ガラス面割合等は現地調査により把握することとした。
- 本右図に、上記参照情報に基づく同地区の建築物・土地利用情報を記した平面図を示す。
- また、本実証では3D都市モデルの建築物モデルLOD1及びLOD2のデータで整備されている情報のみをモデル化の対象とし、道路の街路樹や植栽、標識などは、本実証における約 1 km × 1 km のエリアに対しては与える影響が小さいを判断し対象外とした。

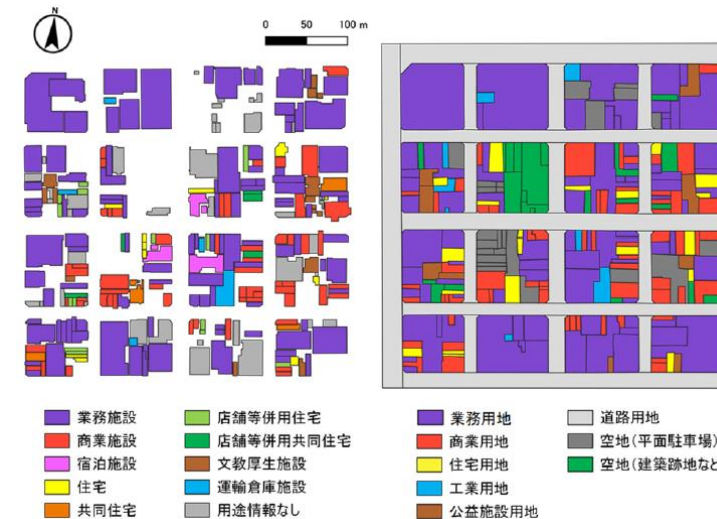


図 錦二丁目の平面図
(左図、建築物、右図：土地利用)

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能 | AcuSolve

気候変動影響シミュレーション手法の概要

- 温熱環境には、前記に示す通り「地面や建築物の表面材質およびガラス面の面積割合」が重要である。本実証では、これらを建築物の構造とガラス面積割合より各表面の熱的特性としてモデル化し、それを反映した疑似物質を各面に一律に設定した。
- 建築物の表面材質について、関連する情報として名古屋市の都市計画基礎調査では各建築物の構造を「木造」「非木造」の区分で整備している。本シミュレーションでは、建築物モデルの属性情報における構造（uro:buildingStructureType）は「木造」の建築物の表面を木材、「非木造」の建築物の表面をコンクリート材と仮定した。
- また、建築物表面は材質以外にガラス面の位置・大きさによって日射を反射・吸収する特性が変化する。これらについては、現地調査で把握することとした。本実証では、建物の壁面に示すガラス面の面積割合を0%、25%、50%、75%、100%の5段階で目視調査により把握し、各々の建築物表面に対する境界条件として設定することで対応した。地表面についてもその被覆により熱的特性が異なるため、土地利用モデルの土地利用区分から田畑等は「緑地」とし、公共空地は都度確認し、その他はアスファルトと設定した。
- これら建築物表面と地表面の境界条件を下表に示す。建物の壁面特性として優位性の高い、鏡面透過率、拡散反射率、吸収率を設定し、拡散透過率、鏡面反射率はいずれも0とした。

表 建物境界条件・地表面境界条件

表面情報	日射 鏡面 透過率	日射 拡散 反射率	日射 吸収率	長波 放射率	対流熱 伝達率 [W/m ² K]	固体 温度 [℃]
アスファルト他	0	0.10	0.90	0.90	10.0	※
緑地	0	0.50	0.50	0.50	10.0	※
木造 (ガラス面0%)	0	0.20	0.80	0.90	10.0	28.0
木造 (ガラス面25%)	0.15	0.22	0.63	0.90	10.0	28.0
木造 (ガラス面50%)	0.30	0.25	0.45	0.90	10.0	28.0
木造 (ガラス面75%)	0.45	0.27	0.28	0.90	10.0	28.0
木造 (ガラス面100%)	0.60	0.30	0.10	0.90	10.0	28.0
非木造 (ガラス面0%)	0	0.10	0.90	0.90	10.0	28.0
非木造 (ガラス面25%)	0.15	0.15	0.70	0.90	10.0	28.0
非木造 (ガラス面50%)	0.30	0.20	0.50	0.90	10.0	28.0
非木造 (ガラス面75%)	0.45	0.25	0.30	0.90	10.0	28.0
非木造 (ガラス面100%)	0.60	0.30	0.10	0.90	10.0	28.0

- 下図に、名古屋市錦二丁目における表面分類例を示す。図に示す色別に「表面分類」としてグループ化している。
- グループ化は、例えば、LOD1の直方体建物（6面体ソリッド）の場合、設定すべき面は、地面に接する1面を除く5面になり、都市レベルの建物数では数百～数千面に達する。温熱環境シミュレーションにおいて、これら数千の面に個別の建物境界条件を与えることは可能であるが、現状のシミュレーションソフトの機能ではCityGMLの属性情報から設定に必要な建物および地表面境界条件を全自動で構築することができず、設定工数が膨大になる。そのため、個々の面ごとではなく、建物および地表面境界条件をグループ化することで、シミュレーション設定の効率化を図る。
- このような建築物表面と地表面の境界条件設定や表面分類のグループ化の方法についても本実証結果に対する検証を加え、P60の「名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証」でパラメータ変更によるシミュレーション精度の向上の可能性を示した。



28

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

アルゴリズム

① 支配方程式

- AcuSolveでは、熱流体現象の支配方程式を有限要素法で離散化し、コンピュータによる反復計算を用いて要素毎の流れおよび温度の近似解を求めている。以下、AcuSolveの計算アルゴリズムで用いられている“支配方程式”、および“離散化”について説明する。
- 本実証で利用されている支配方程式は、以下の3つである。
 - 連続の方程式
 - 運動方程式
 - エネルギー方程式

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

アルゴリズム

① 支配方程式

- 各支配方程式の概要を偏微分方程式形式で示す。
- 連続の方程式は流体の質量と運動量の保存則から導入された。運動方程式は、ナビエ-ストークス方程式（Navier-Stokes equations）と呼ばれ、アンリ・ナビエとジョージ・ガブリエル・ストークスによって導かれた。最後が、温度などのエネルギーの保存則から導かれたエネルギー方程式である。
- 下記に示す連立偏微分方程式のセットによって、圧力・温度・速度などの流れ特性間の関係が記述される。

• 連続の方程式:
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0$$

• 運動方程式:
$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\rho \vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} = -\nabla p + \rho \vec{b} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}$$
$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k}$$

• エネルギー方程式:
$$\rho \frac{\partial h}{\partial t} + (\rho \vec{u} \cdot \nabla) h = \nabla \cdot (k \nabla T) + \nabla \vec{u} \cdot \boldsymbol{\tau} + \frac{Dp}{Dt} + S$$
$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} = \frac{Dp}{Dt} + \nabla \cdot (k \nabla T) + \nabla \vec{u} \cdot \boldsymbol{\tau} + S$$

凡例、 ρ : 密度、 u : 速度、 p : 圧力、 b : 体積力、 τ : 粘性応力、 μ : 粘性係数、 δ_{ij} : クロネッカーのデルタ^{注)}、 h : エンタルピー、 k : 熱伝導率、 S : 熱源

注) クロネッカーのデルタ:

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%AF%E3%83%AD%E3%83%8D%E3%83%83%E3%82%AB%E3%83%BC%E3%81%AE%E3%83%87%E3%83%AB%E3%82%BF>

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

アルゴリズム

① 支配方程式

- 運動方程式（ナビエ-ストークス方程式）は、下記に示すようニュートン力学における運動の第2法則に相当し、運動量の流れの保存則を表す。
 - 物理原理：ニュートンの第2法則（力＝質量×加速度： $f=ma$ ）
 - 流体粒子の運動量の時間変化率は力の合計に等しい。
 - 表面力：粘性力（引張およびせん断応力）、圧力（圧縮力）
 - 体積力：重力、遠心力、コリオリ力、電磁気力など。

$$\underbrace{\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t}}_{\text{I}} + \underbrace{(\rho \vec{u} \cdot \nabla) \vec{u}}_{\text{II}} = - \underbrace{\nabla p}_{\text{III}} + \underbrace{\rho b}_{\text{IV}} + \underbrace{\nabla \cdot \tau}_{\text{V}}$$

凡例 ρ : 密度、 u : 速度、 p : 圧力、 b : 体積力、 τ : 粘性応力

- **I**: 運動量の時間的な局所変化項
- **II**: 運動量の移流項
- **III**: 表面力項
- **IV**: 体積力項
- **V**: (拡散)項

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム アルゴリズム

① 支配方程式

- 熱力学第 1 法則である熱と仕事のつり合いからエネルギー方程式を導く。
- 本実証では、下記に示す損失のない理想気体とした熱伝導方程式を用いる。

$$\underbrace{\rho c_p \frac{DT}{Dt}}_{\text{I}} = \underbrace{\frac{Dp}{Dt}}_{\text{II}} + \underbrace{\nabla \cdot (k \nabla T)}_{\text{III}} + \underbrace{\nabla \vec{u} \cdot \boldsymbol{\tau}}_{\text{IV}} + \underbrace{S}_{\text{V}}$$

- I**: 単位体積当たりの流体の熱エネルギーの時間変化
- II**: 圧力項
- III**: 熱伝導項
- IV**: 力学エネルギーへの不可逆変化項 (粘性熱損失)
- V**: 熱源項

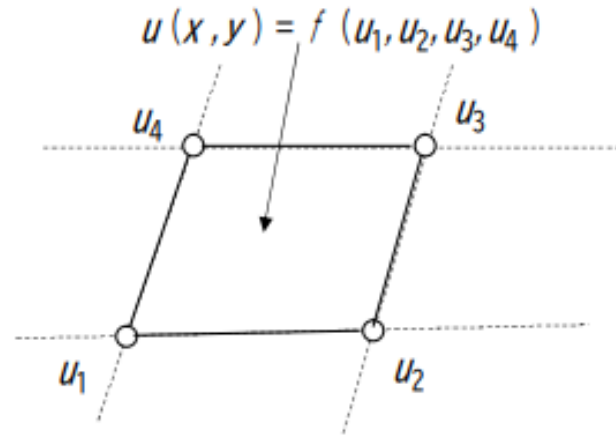
凡例 ρ : 密度、 C_p : 定圧比熱、 T : 温度、 u : 速度、 k : 熱伝導率、 S : 熱源

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

アルゴリズム

②有限要素法による離散化

- AcuSolveでは、「①支配方程式」を、有限要素法（FEM：Finite Element Method）で離散化し、コンピュータによる反復計算を用いて要素毎の流れ方程式の近似解を求める。
- 有限要素法では、解析空間を（有限）要素という微小空間に分割し、要素内のおよび全解析空間内で「①支配方程式」群の体積分の値が最小値を持つことをベースにしたものである。
- 支配方程式は微分型ではなく基底関数に乗じて積分した弱形式を用いる。この時、セル（有限要素のセット）内部の分布状態はセル頂点上の変数を補間関数によって与えられる。



Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

アルゴリズム

②有限要素法による離散化

- AcuSolveでは、変分原理に基づき、支配（微分）方程式を残差最小化で近似解を求める。
- 支配微分方程式は以下の形で表される。

- 変数 φ の支配微分方程式:

$$L(\varphi) = \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (f_j - f_j^d) - s = 0$$

- 上記の方程式の近似解 $\bar{\varphi}$ を以下の形式だと仮定する:

$$\varphi(x) \approx \bar{\varphi}(x) = \sum_i N_i \varphi_i(x)$$

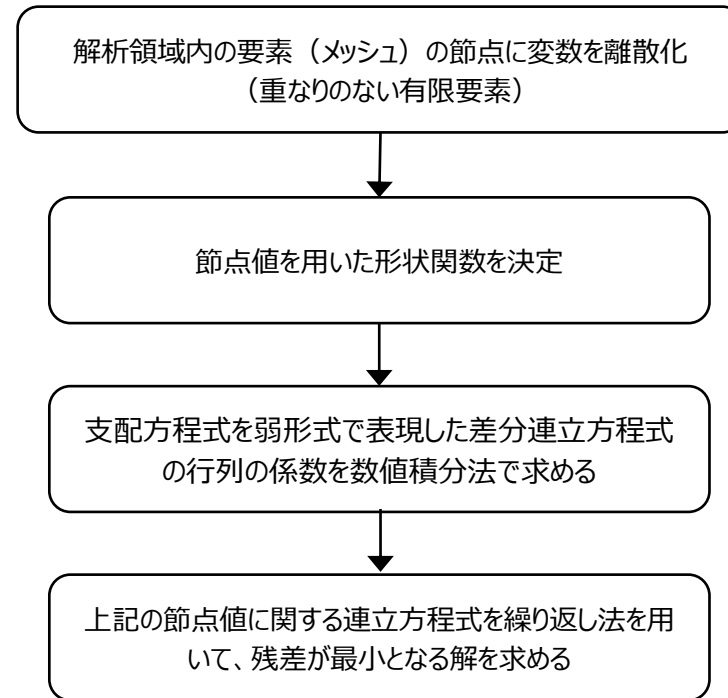
- 問題領域は、有限要素のセットに分割される（通常、2次元では三角形または四角形であり、3次元では四面体、六面体、ピラミッド、またはプリズム要素が用いられる）。
- 未知数は、節点値と形状関数による補間を使用して、ドメイン全体を表現している。
- 節点値をもとにした上記の近似関係を用いて作成された支配方程式の時間差分ベースの連立方程式に代入され、残差は、重み付き残差定式化を使用して平均的な意味で最小化される。
- なお、重み付き残差定式化とは、支配方程式をグローバル弱形式と呼ばれる積分形式に変換、各有限要素に節点値をもとにした上記の近似関係適用して、作成された時間差分ベースの連立方程式を作成する手法である。

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

アルゴリズム

②有限要素法による離散化

- 重み付き残差定式化には、様々な定式化があるが、AcuSolvでは、ガラーキン最小 2 乗法 (GLS: Galerkin Least Squares Formulation) を基し、下図に示す収束判定法により最小値 (近似解) を求める。これにより、他の有限要素法ベースの流体解析ソルバーに比べて、高精度・高速かつ安定的な解を得ることができるという特徴を有する。



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
建築物LOD1	bldg:Building	空間属性	bldg:lod1Solid	建築物のLOD1の立体
地形LOD1	dem:TINRelief	空間属性	tin	地形
土地利用LOD1	luse:LandUse	空間属性	uro:landUseType	土地利用用途
道路LOD1	tran:Road	空間属性	tran:lod1MultiSurface	道路
UrbanObject	uro:BuidingAttribute	主題属性	uro:buidingStructureType	建築物の構造種別

Ⅲ. 実証システム > 6. 活用データ

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
1. 過去の気象データ	2021年夏季、2022年夏季および2022年冬季日中の気象条件（気温、風向・風速）	ウェブサイト掲載	気象庁
2. 気候変動の将来予測データ	将来年の夏季日中の気象条件を予測するための気候変動予測データ（気温）	ウェブサイト掲載	気候変動適応情報プラットフォーム（A-PLAT）
3. 建築物表面のガラス面積割合	CFD解析モデルにおける建物表面の熱的物性値を決定するためのガラス面積の割合	現地調査	現地調査

Ⅲ. 実証システム > 6. 活用データ

①活用データ | その他の活用データ

1. 過去の気象データ

- ① 気象庁の「過去の気象データ検索」より、該当する場所・日時における気象データ（気温、風向・風速）を参照。
- ② 後述するユーザーインターフェース「（5）気象特性定義」（P50参照）にて、ソフトウェア上に解析条件として入力。



国土交通省
気象庁
Japan Meteorological Agency

HOME | 防災情報 | 各種データ・資料 | 地域の情報 | 知識・解説 | 各種申請・ご案内

HOME > 各種データ・資料 > 過去の気象データ検索

過去の気象データ検索

各地の気温、降水量、風など | 高層の気温、風など

最新の気象データ | 過去の気象データダウンロード | 地域平均気象

地点と年月日時を選択して、表示するデータの種類の選択してください。検索条件を全てクリア

地点の選択 | 年月日の選択 | データの種類

地点の選択をクリア

都道府県選択
都府県・地方を選択

地点選択
地点を選択
(未選択)

年月日の選択をクリア

2023年 2003年 1983年
2022年 2002年 1982年
2021年 2001年 1981年
2020年 2000年 1980年
2019年 1999年 1979年
2018年 1998年 1978年
2017年 1997年 1977年
2016年 1996年 1976年
2015年 1995年
2014年 1994年
2013年 1993年
2012年 1992年
2011年 1991年
2010年 1990年
2009年 1989年
2008年 1988年
2007年 1987年
2006年 1986年
2005年 1985年
2004年 1984年

1月 1日 16日
2月 2日 17日
3月 3日 18日
4月 4日 19日
5月 5日 20日
6月 6日 21日
7月 7日 22日
8月 8日 23日
9月 9日 24日
10月 10日 25日
11月 11日 26日
12月 12日 27日
13日 28日
14日 29日
15日 30日
31日

データの種類の選択

年ごとの値を表示
(地点を指定してください)

3か月ごとの値を表示
(地点、年を指定してください)

観測開始からの月ごとの値を表示
(地点を指定してください)

月ごとの値を表示
(地点、年を指定してください)

旬ごとの値を表示
(地点、年を指定してください)

半旬ごとの値を表示
(地点、年を指定してください)

日ごとの値を表示
(地点、年月を指定してください)

1時間ごとの値を表示
(地点、年月日を指定してください)

10分ごとの値を表示
(地点、年月日を指定してください)

地点ごとの観測史上1~10位の値
(地点を指定してください)

年・月ごとの平均値を表示
(地点を指定してください)

3か月ごとの平均値を表示
(地点を指定してください)

旬ごとの平均値を表示
(地点を指定してください)

半旬ごとの平均値を表示
(地点を指定してください)

日ごとの平均値を表示
(地点、月を指定してください)

霜・雪・結氷の初終日と初冠雪日の平均値を表示
(気象台、測候所などのみのデータです)

平均値は1991~2020年の30年間の観測値の平均をもとに算出しています。

要素別データの公開期間
(気象台、測候所などのみのデータです)

気象庁HP

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

Ⅲ. 実証システム > 6. 活用データ

① 活用データ | その他の活用データ

2. 気候変動の将来予測データ

- ① 気候変動適応情報プラットフォーム（A-PLAT）より、該当する場所・年次における気象データ（気温）を参照。
- ② 後述するユーザーインターフェース「（5）気象特性定義」（P50参照）にて、ソフトウェア上に解析条件として入力。



A-PLAT
気候変動適応情報プラットフォーム
CLIMATE CHANGE ADAPTATION INFORMATION PLATFORM

本文へ | A-PLATについて | データ・資料 | 情報アーカイブ | リンク集 | お問い合わせ

気候変動と適応 国の取組 地域の適応 事業者の適応 個人の適応

HOME > データ・資料 > 気候変動の観測・予測データ > 将来予測 画像データ

気候変動の観測・予測データ

将来予測 画像データ

ご利用の前に

ここでは下記の研究成果に基づくデータを示しています。

- 「環境省環境研究総合推進費S-8温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究（2010～2014）」における影響評価の研究成果（S8データ）

※本サイトで提供するすべての予測結果は特定のシナリオに基づく予測であり、種々の要因により実際とは異なる現象が起こる可能性（不確実性）があります。

- はじめにお読みください
- 利用規約 (PDF)
- 気候予測・影響予測の概要
- 影響予測のQ&A
- 将来予測を利用される際の注意点

データ・資料

- e-ラーニング・研修動画
- 気候変動影響評価報告書の引用文献
- 学術誌論文
- 梗概集、紀要等
- 統計データ・白書等
- 事業者の適応に関する参考資料
- 気候変動の観測・予測データ（全国都道府県情報）
- 適応策データベース
- 世界の適応ニュース
- 研究紹介

気候変動適応情報
プラットフォーム（A-PLAT）

<https://adaptation-platform.nies.go.jp/map/estimate.html>

Ⅲ. 実証システム > 6. 活用データ

① 活用データ | その他の活用データ

3. 建築物表面のガラス面積割合

- ① CFD解析モデルにおける建物表面の熱的物性値を決定するため、各建物のガラス面積割合を現地調査により把握（建物の各表面に対して0、25、50、75、100%の5段階で目視により決定）。
- ② 後述するユーザーインターフェース「（10）地面・建物の日射モデル定義」（P55参照）にて、ソフトウェア上に解析条件として入力。

表面情報	日射 鏡面 透過率	日射 拡散 反射率	日射 吸収率	長波 放射率	対流熱 伝達率 [W/m ² K]	固体 温度 [℃]
アスファルト他	0	0.10	0.90	0.90	10.0	※
緑地	0	0.50	0.50	0.50	10.0	※
木造 (ガラス面0%)	0	0.20	0.80	0.90	10.0	28.0
木造 (ガラス面25%)	0.15	0.22	0.63	0.90	10.0	28.0
木造 (ガラス面50%)	0.30	0.25	0.45	0.90	10.0	28.0
木造 (ガラス面75%)	0.45	0.27	0.28	0.90	10.0	28.0
木造 (ガラス面100%)	0.60	0.30	0.10	0.90	10.0	28.0
非木造 (ガラス面0%)	0	0.10	0.90	0.90	10.0	28.0
非木造 (ガラス面25%)	0.15	0.15	0.70	0.90	10.0	28.0
非木造 (ガラス面50%)	0.30	0.20	0.50	0.90	10.0	28.0
非木造 (ガラス面75%)	0.45	0.25	0.30	0.90	10.0	28.0
非木造 (ガラス面100%)	0.60	0.30	0.10	0.90	10.0	28.0

ガラス面積割合に対する
熱的物性値表

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)
3Dモデルデータ (STL形式)	気象変動影響シミュレーション 用の3Dモデル	建築物（LOD1もしくはLOD2）および地形 データ（地面、道路、土地利用） CityGML形 式からSTL形式への変換	アルテアエンジニアリ ング社製CityGML 変換プログラム (注)	3D都市モデル (CityGML形式)

注：アルテアエンジニアリング社製品への実装予定の機能を取り出し利用する。

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

③出力データ | 一覧

(1) 出力項目

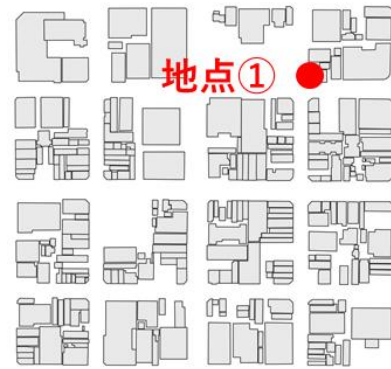
- 出力は、シミュレーションモデル内で離散化された節点毎の温度スカラー値と速度ベクトル値である。
- 上記の値は、アルテアエンジニアリング社製品独自のバイナリー形式でのみ保存されているため、ポストプロセッシング処理により、下表に示す形式で出力する。
 - テキスト形
 - 画像形式

出力データ	内容	データ形式
(指定位置における) 温度データ	環境実測結果と比較するための出力データ。	テキスト
温熱環境画像データ (温度コンター)	温熱環境を評価するため、地上高1.1mでの気温を可視化。	画像ファイル、glbファイル
温熱環境画像データ (速度ベクトル)	温熱環境を評価するため、地空間の速度ベクトルを可視化。	画像ファイル、glbファイル

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ③出力データ 出力データ | 温度

(2) 出力例：温度

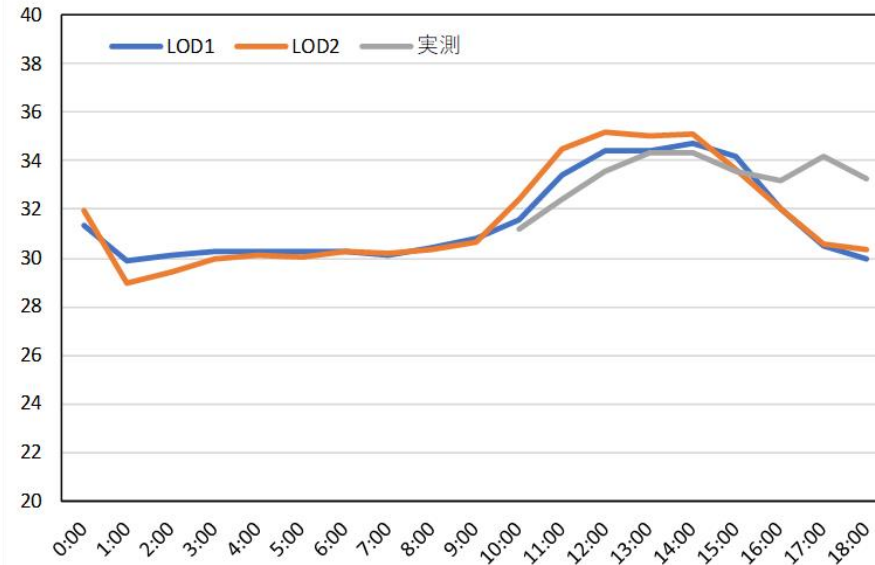
- 同一地点での温度である。
- 下図は、名古屋市の2021年8月4日の環境実測データとの比較例であり、シミュレーション結果との精度比較検討に利用する。



滝一ビル横駐車場



地点①における地上1.1m気温の日変化比較

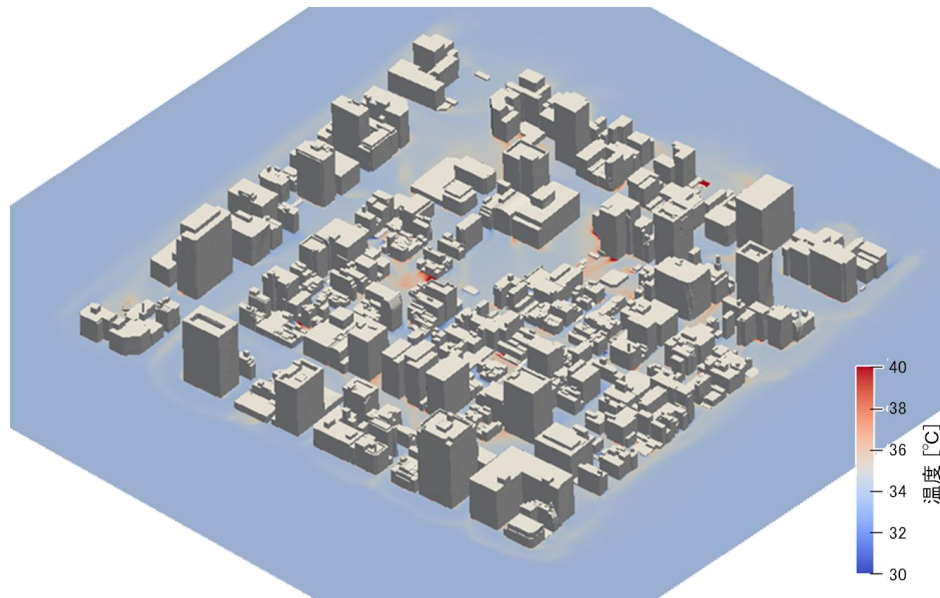


- 結果詳細は、「Ⅳ. 実証技術の検証」で説明する。

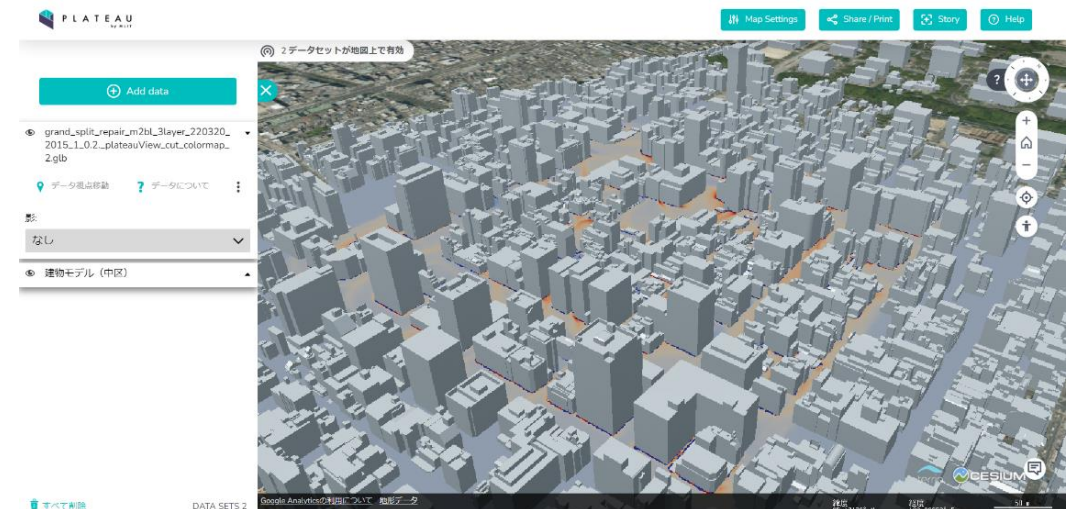
Ⅲ. 実証システム 6. データ > ③出力データ 出力データ | 画像データ

(2) 出力例：画像データ

- 地上高1.1mでの気温を可視化する。
- 下図は、名古屋市のシミュレーション結果で、HyperWorks CFDでのポストプロセッシング処理例と、gltbファイルに変換したPLATEAU VIEWでの表示例を示す。



HyperWorks CFDによる気温表示



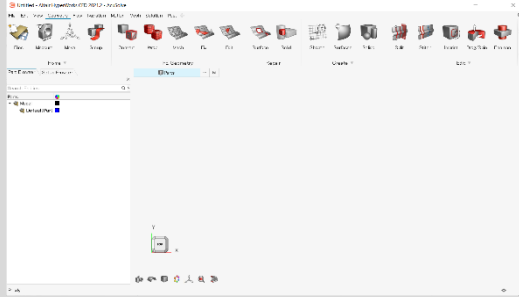
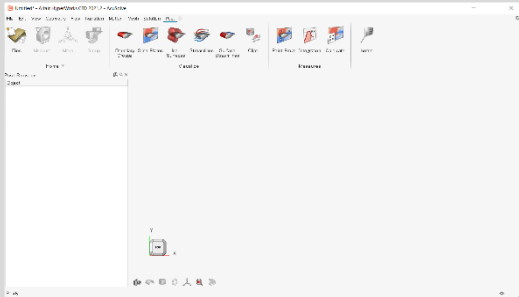
PLATEAU VIEWによる気温表示

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

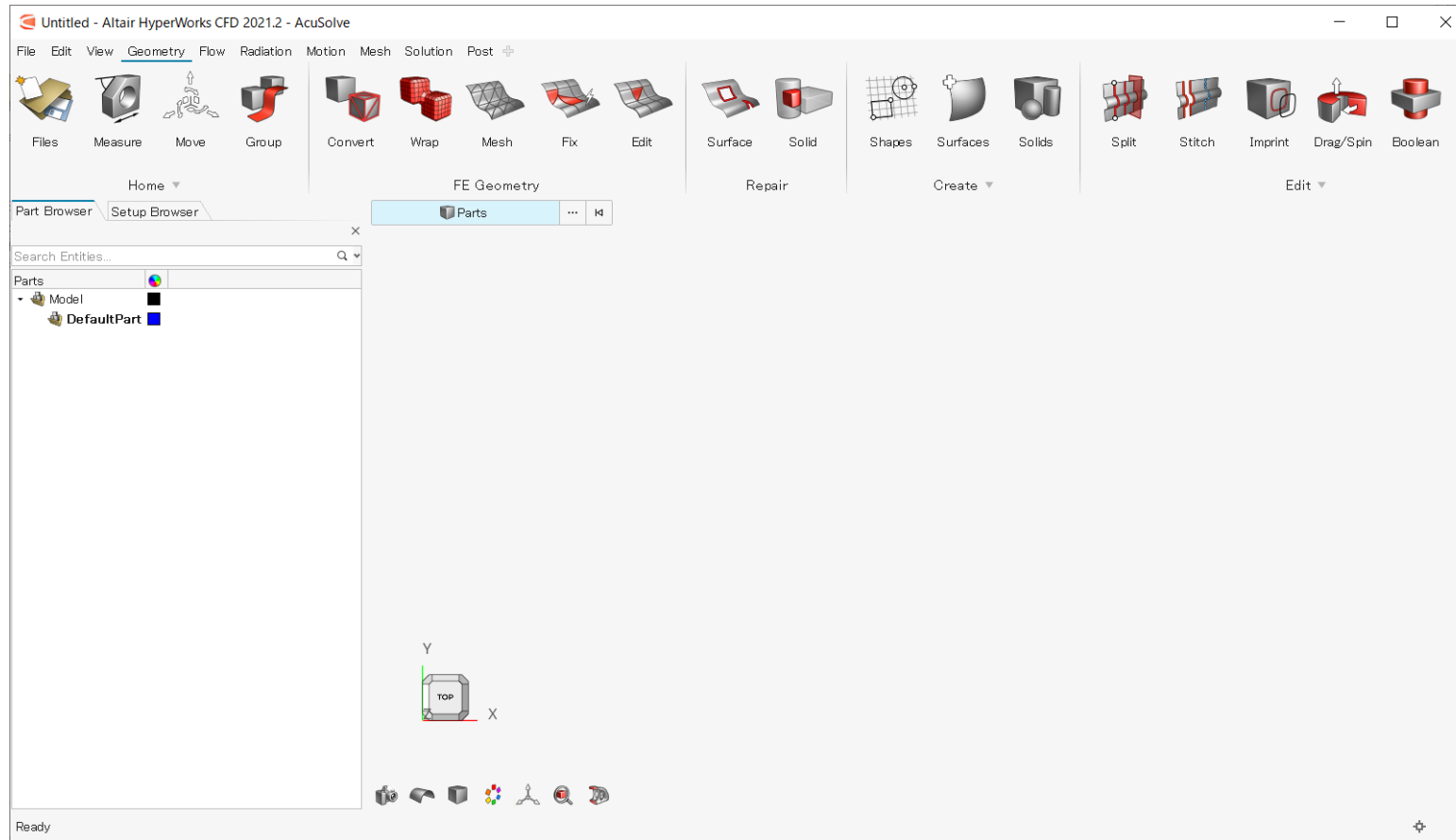
(1) 画面構成

- 建物・地形データを含む3D都市モデルからシミュレーションモデルへの構築を行い、地面・建物の熱特性、気象特性など温熱環境解析に必要な項目を入力、シミュレーション結果の可視化など全ての処理をHyperWorks CFD (GUI) 画面から実施する。

画面	機能	GUI画面による設定項目
解析モデル作成 (HyperWorks CFD)	②シミュレーションモデル形状の構築 ③離散化要素への分割 ④解析条件 (気候条件と境界条件) の定義	 - STLファイル (地形データ、建物データ) の読込 - 解析領域 (建物上空エリア) の作成 - シミュレーション解法 (物理モデル) の定義 - 地面・建物の熱特性 (反射率等) 定義 - 気象特性 (気温、風速) 定義 - 日射 (位置、日時) 定義 - 離散化要素 (メッシュ) 分割定義 - シミュレーション実行 (AcuSolve)
可視化機能 (HyperWorks CFD)	⑥ポストプロセッシング処理	 - 計算結果ファイルの読込 - 計算結果の可視化、出力

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

(2) HyperWorks CFD画面（起動画面）



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

(3) HyperWorks CFD画面（利用するリボン1）

- リボンにグループ化されたアイコンにより、必要な機能にアクセスし、温熱環境シミュレーションに必要な項目の入力・定義が可能である。

処理概要

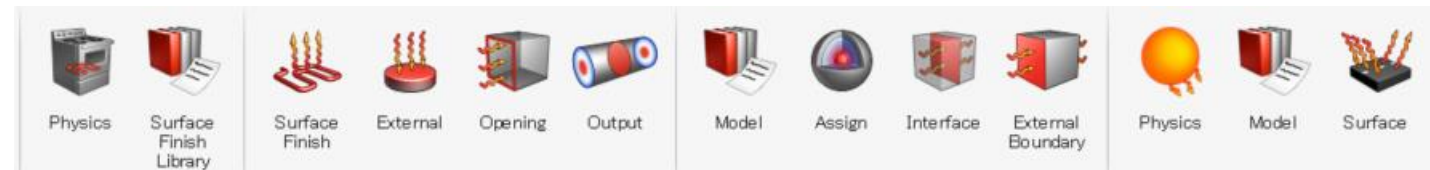
① Geometry：形状作成、修正



② Flow：シミュレーション解法（物理モデル）、境界条件（建物・地面特性）を定義



③ Radiation：日射、輻射を定義



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

(3) HyperWorks CFD画面（利用するリボン2）

- リボンにグループ化されたアイコンにより、必要な機能にアクセスし、温熱環境シミュレーションに必要な項目の入力・定義が可能である。

処理概要

① Mesh：離散化要素（メッシュ）分割定義。



② Solution：シミュレーション実行。



③ Post：ポストプロセッシング処理。

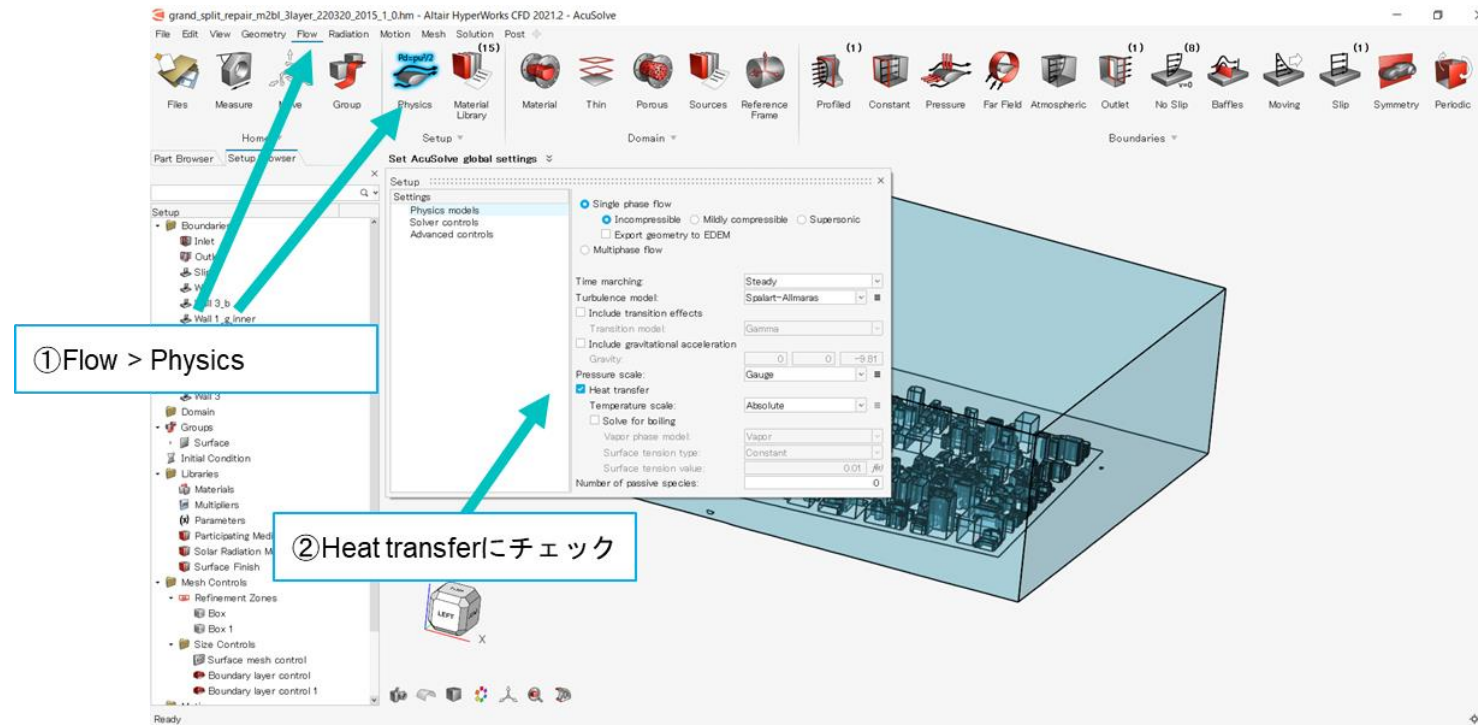


Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

(4) シミュレーション解法（物理モデル）の定義

処理概要

- ① Flow > Physics.
- ② デフォルト設定に加えて、Heat transfer（伝熱解析）を追加定義する。

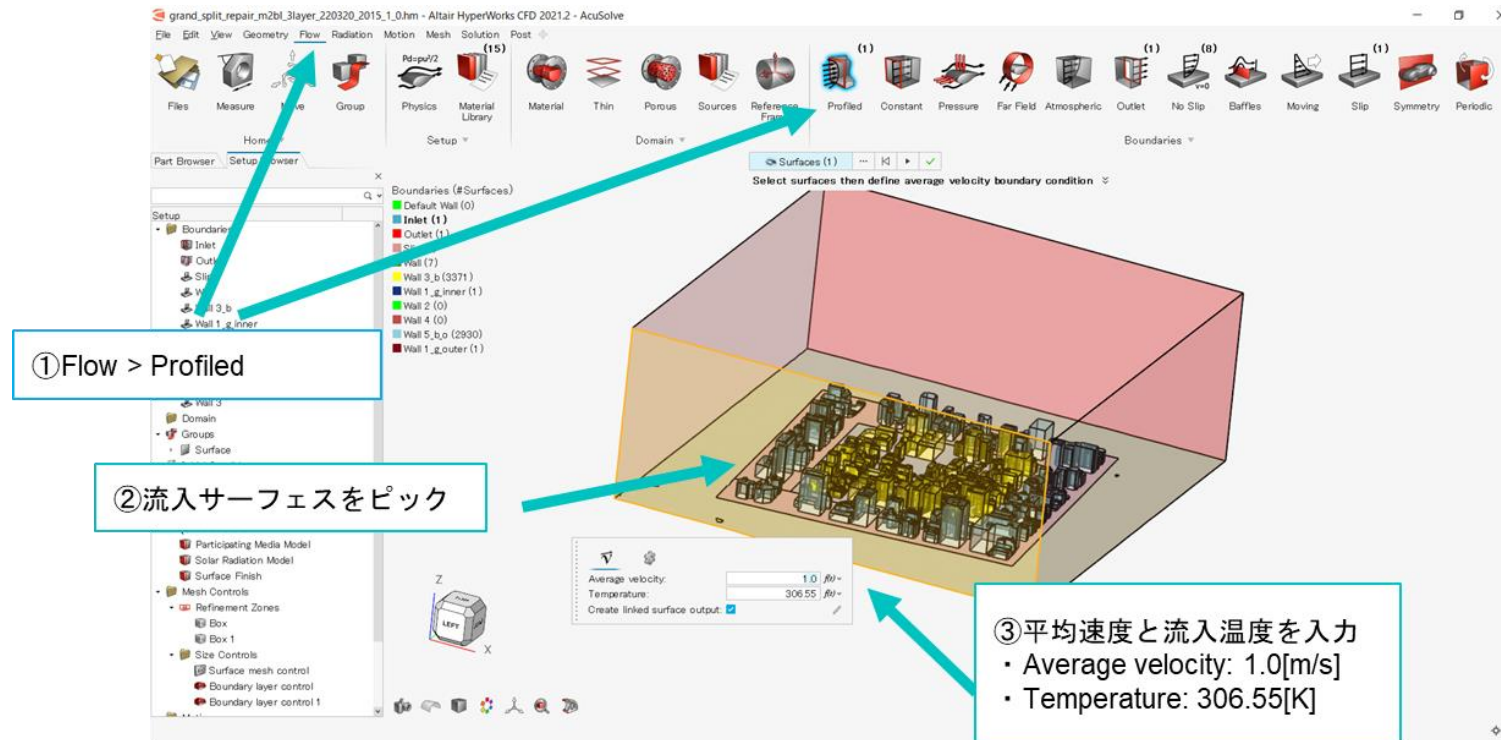


Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

(5) 気象特性（気温、風速）定義

処理概要

- ① Flow > Boundaries > Profiled.
- ② 大気境界で風の流入（気温、風速）を定義する。



处理概要

-
- 2002_grand_split_repair_m2bl_3layer_220320_2015_1.0.hm - Altair HyperWorks CFD 2012.2 - AcuSolve
- File Edit View Geometry Flow Radiation Motion Mesh Solution Setup
- Files Measure Move Group Physics Material Library Material Thin Porous Sources Reference Frame Profiled Constant Pressure Far Field Atmospheric No Slip Baffles Moving Slip Symmetry Periodic
- Home Setup Domain
- Boundaries (#Surfaces)
- Inlet (1)
 - Outlet (1)
 - Slip (3)
 - Wall (7)
 - Wall 3_b (3371)
 - Wall 1_g_inner (1)
 - Wall 2 (0)
 - Wall 4 (0)
 - Wall 5_b_o (2930)
 - Wall 1_g_outer (1)
 - Wall 3 (0)
- ① No Slip
- Select surfaces then define no slip wall boundary condition
- ② 周りの地面をピック
- Thermal boundary condition:
- Heat flux: 0.0 [W/m²]
- Convective heat coefficient: 10.0 [W/m²K]
- Convective heat reference temperature: 306.55 [K]
- ③ Convective heat coefficient : 10 [W/m²K]
Convective heat reference temperature : 306.55 [K]を入力 (注)

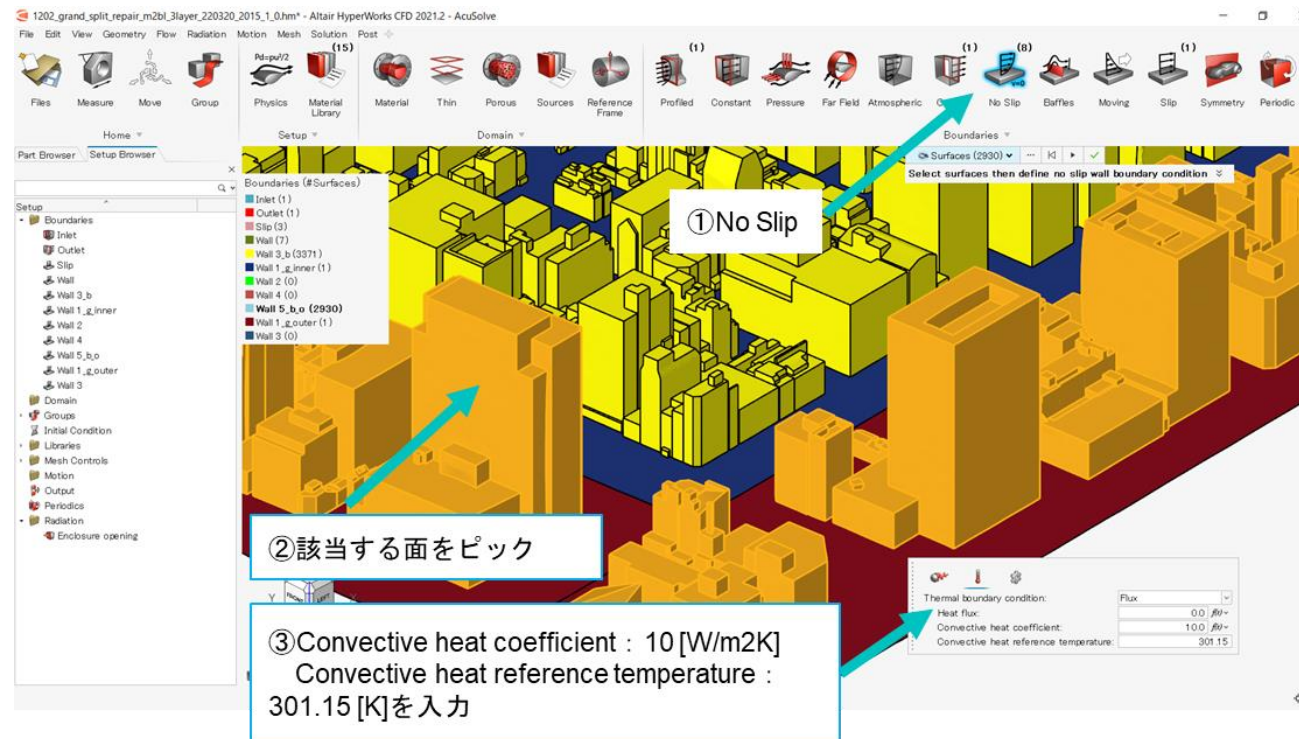
Copyright © 2023 by MLIT. All rights reserved.

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

(7) 地面・建物の熱特性定義（例 2：建物の熱伝達量）

処理概要

- ① Flow > Boundaries > No Slip。
- ② 建物温度条件を定義（建物における熱伝達量を定義）する。



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

(8) 日射定義 (位置、日時) 定義 1

処理概要

- ・日時と場所(緯度、経度) で異なる日射データを、・AcuSolve付属のスクリプトで日射データファイル (solar_flux.dat) を作成し、そのデータに基づいて日射を計算する。
- ・下記に、スクリプト入力例を示す。

<スクリプト入力例>

```
acuSflux -time "aug-5-2022 12:00:00" -tinc 1 -nts 2 -lat -35.1732 -lon -136.9005 -ndir "0,-1,0" -udir "0,0,1"
```

凡例 :

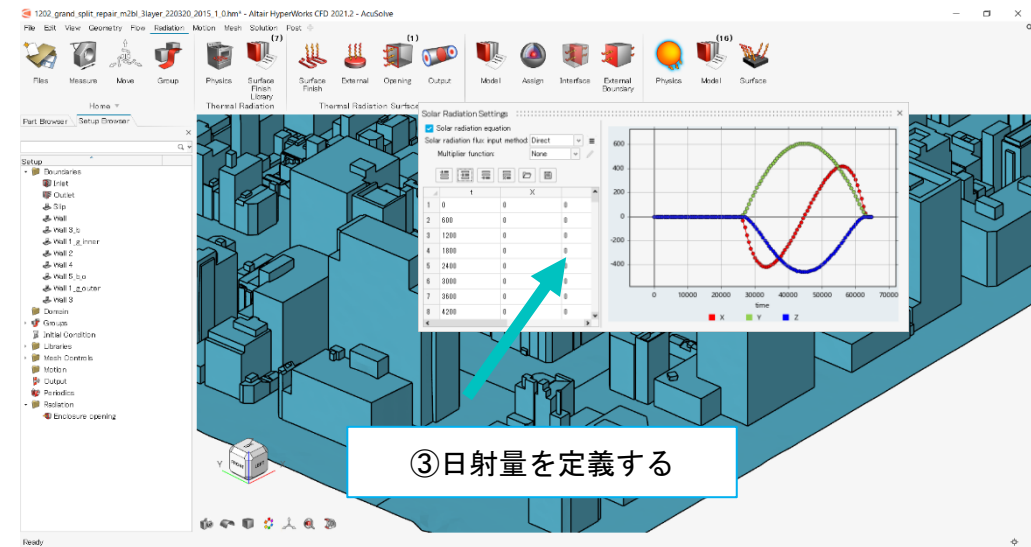
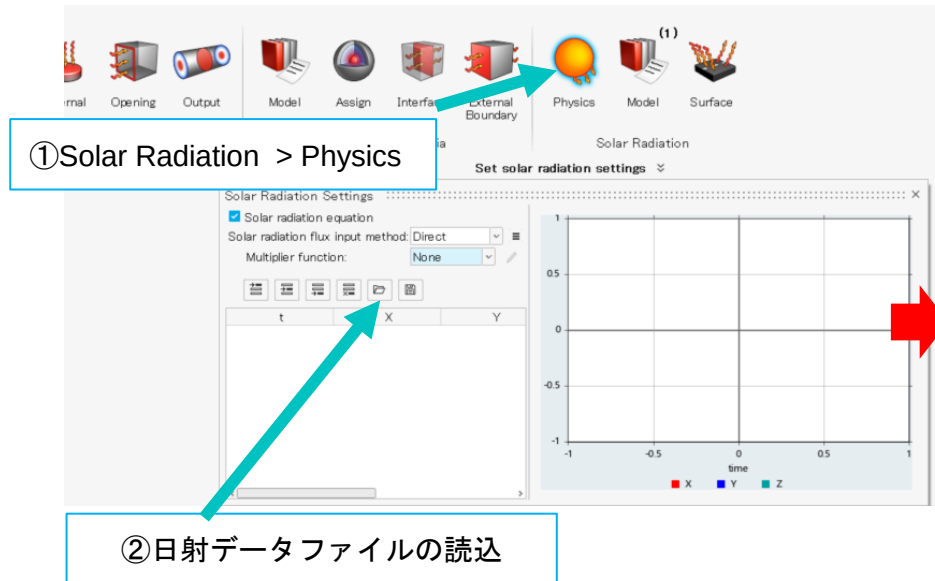
- time : GMTでの開始時刻 (例: "agu-5-2022 12:00:00")
- tinc : 時間増分 (秒)
- nts : 時間ステップの数
- lat : 計算地点の緯度 (北緯、度)、(例: 45.112 or -37.56 (equal to 37.56 S))
- lon : 計算時点の経度 (東経、度)、(例: 86.26 or -54.84 (equal to 54.84 W))
- ndir : モデル座標における北方向の単位ベクトル (例: "0,-1,0")
- udir : モデル座標における上方向の単位ベクトル (例: "0,0,1")

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

(9) 日射定義 (位置、日時) 定義2

処理概要

- ① Solar Radiation > Physics。
- ② 読込ボタンをクリックし、日射データファイル (solar_flux.dat) を読み込む。
- ③ 日射量を定義する。



(10) 地面・建物の日射モデル定義

処理概要
下記表1に示す境界条件をSolar Radiation > modelで定義する。

表 建物境界条件・地表面境界条件

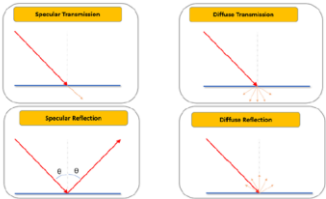
表面情報	日射 鏡面 透過率	日射 拡散 反射率	日射 吸収率	長波 放射率	対流熱 伝達率 [W/m²K]	固体 温度 [℃]
アスファルト他	0	0.10	0.90	0.90	10.0	※
緑地	0	0.50	0.50	0.50	10.0	※
木造 (ガラス面0%)	0	0.20	0.80	0.90	10.0	28.0
木造 (ガラス面25%)	0.15	0.22	0.63	0.90	10.0	28.0
木造 (ガラス面50%)	0.30	0.25	0.45	0.90	10.0	28.0
木造 (ガラス面75%)	0.45	0.27	0.28	0.90	10.0	28.0
木造 (ガラス面100%)	0.60	0.30	0.10	0.90	10.0	28.0
非木造 (ガラス面0%)	0	0.10	0.90	0.90	10.0	28.0
非木造 (ガラス面25%)	0.15	0.15	0.70	0.90	10.0	28.0
非木造 (ガラス面50%)	0.30	0.20	0.50	0.90	10.0	28.0
非木造 (ガラス面75%)	0.45	0.25	0.30	0.90	10.0	28.0
非木造 (ガラス面100%)	0.60	0.30	0.10	0.90	10.0	28.0



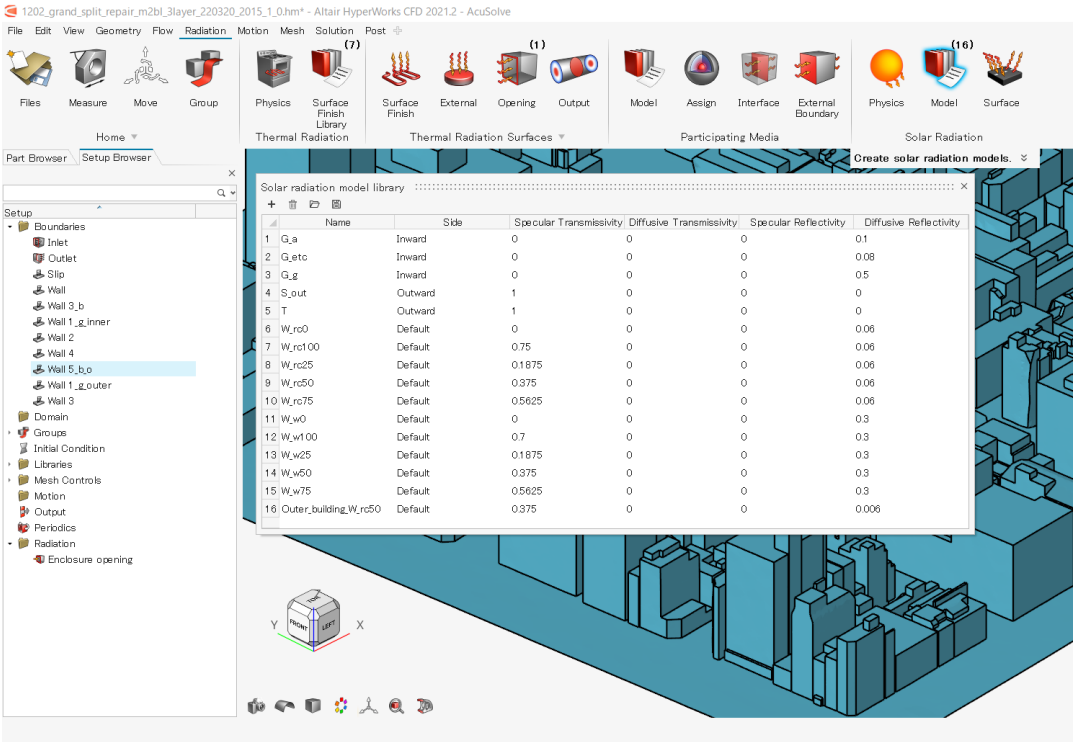
放射率は下式で定義

$$\tau_s(\theta) + \tau_d(\theta) + \rho_s(\theta) + \rho_d(\theta) + \alpha(\theta) = 1$$

τ_s 正透過、 τ_d 拡散透過、 ρ_s 鏡面反射、
 ρ_d 拡散反射、 α 吸収、 θ 入射角



放射（日射）モデルと定義式

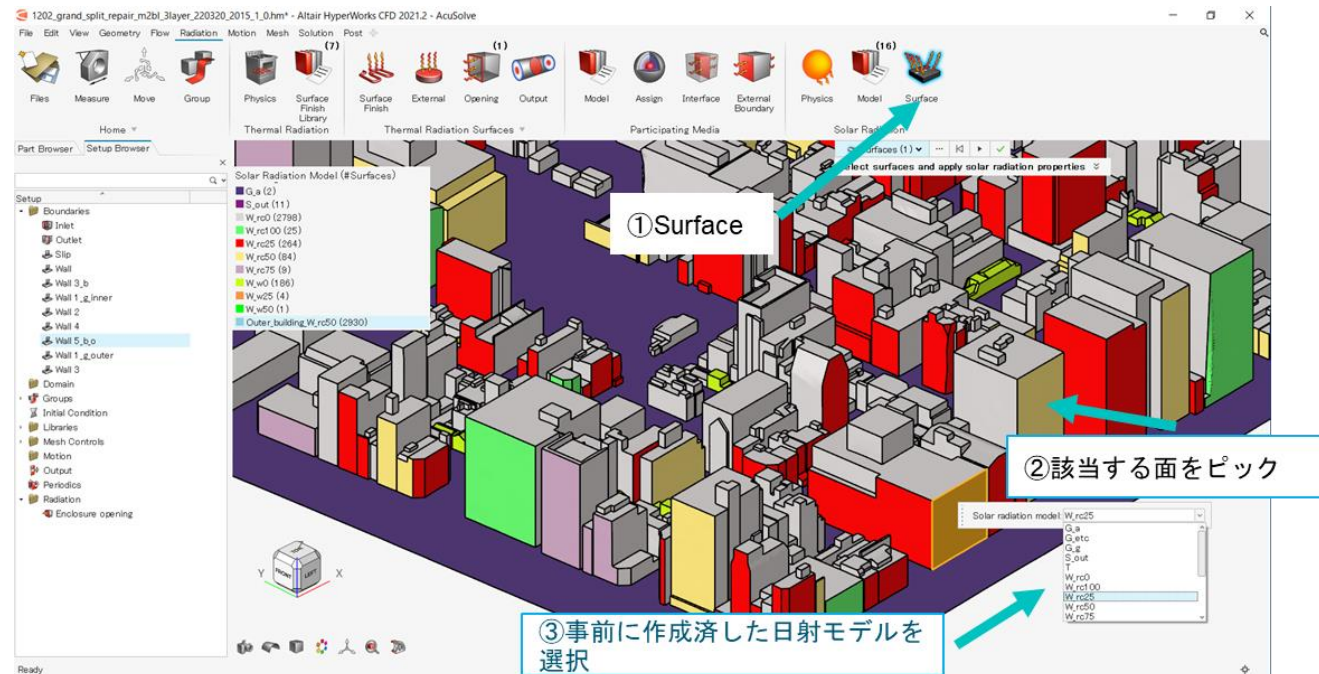


Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

(1 1) 地面・建物の日射モデル定義

処理概要

- ① Solar Radiation > Surface。
- ② 建物の日射条件を定義（建事前作成した日射モデルを選択）する。



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

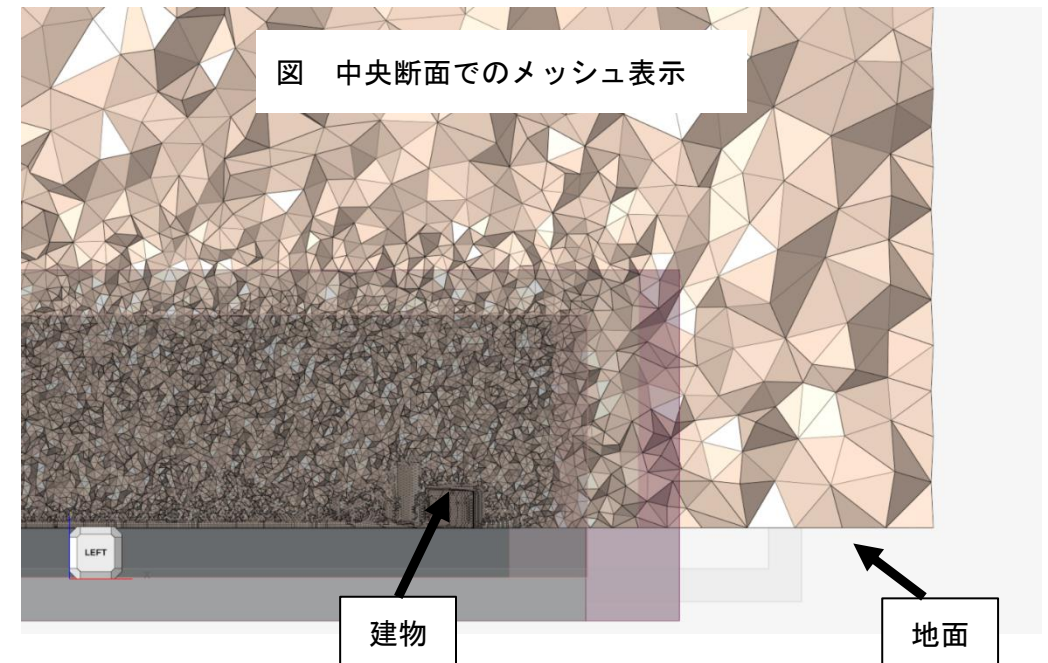
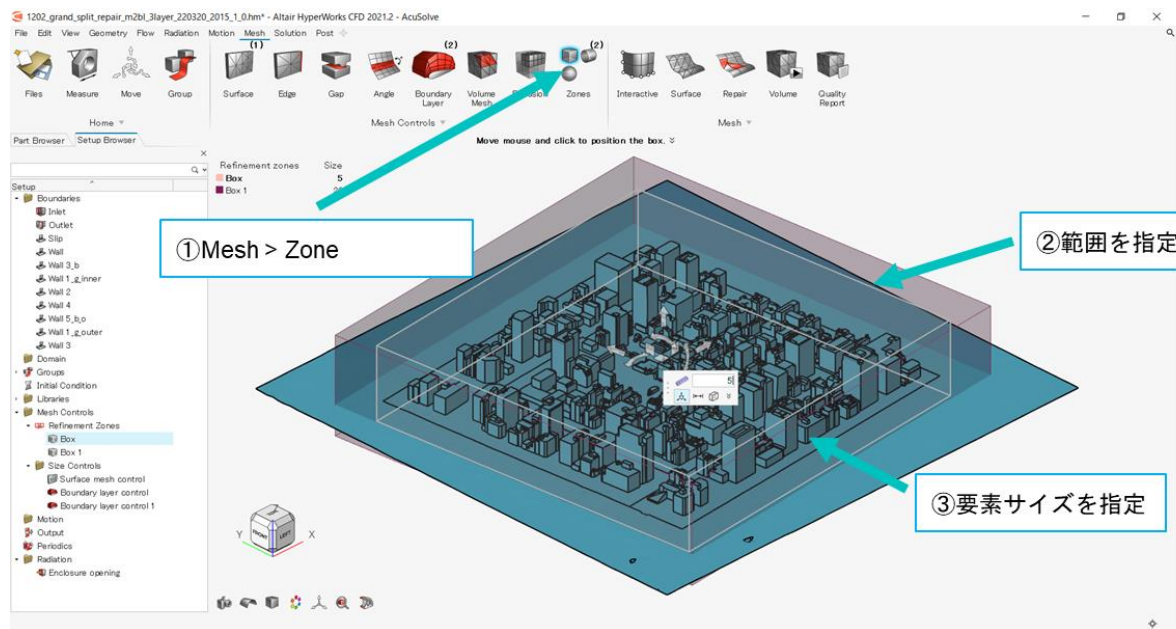
(12) 離散化要素（メッシュ）分割定義

処理概要

- ・離散化（メッシュ分割）は、計算精度を決める重要なポイントである。特に、3D 都市モデルは大規模な（広範囲な）シミュレーションを行うため、効率的な計算を実施するため、適切な粗密（分布）を定義することが必要である。
- ・HyperWorks CFDには、適切な離散化を行うために様々な機能が搭載されており、本実証では、下記に示すZone機能を用いる。

- ①Mesh > Zone > Boxより細密メッシュエリアを指定する。
- ②マニピュレータを用いて位置、範囲を指定する。（注）
- ③Zone毎に、要素サイズを指定する。

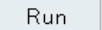
注：下図にZone機能の設定時のメッシュを示す。
建物近傍の2つの箱型の領域がZoneを示す。
Zone機能により建物から周辺部に広がるにつれて徐々にメッシュサイズが大きくなっていくことが分かる。

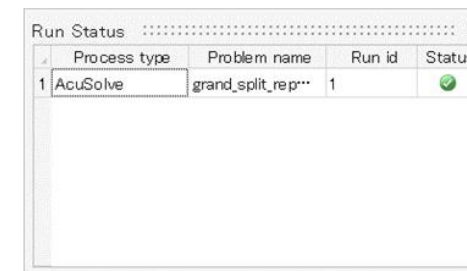
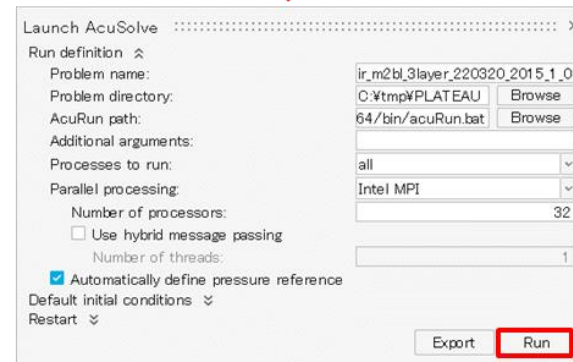
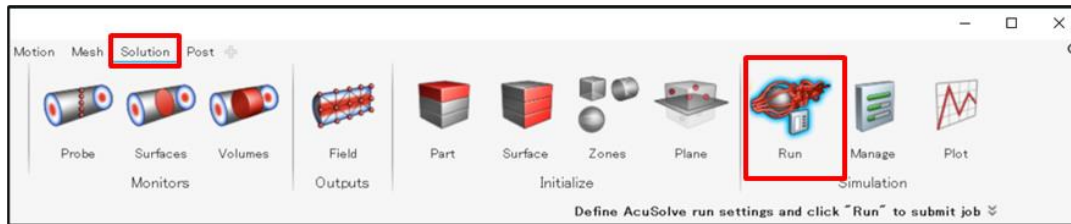


Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

(13) 温熱環境シミュレーション実施 (AcuSolve)

処理概要

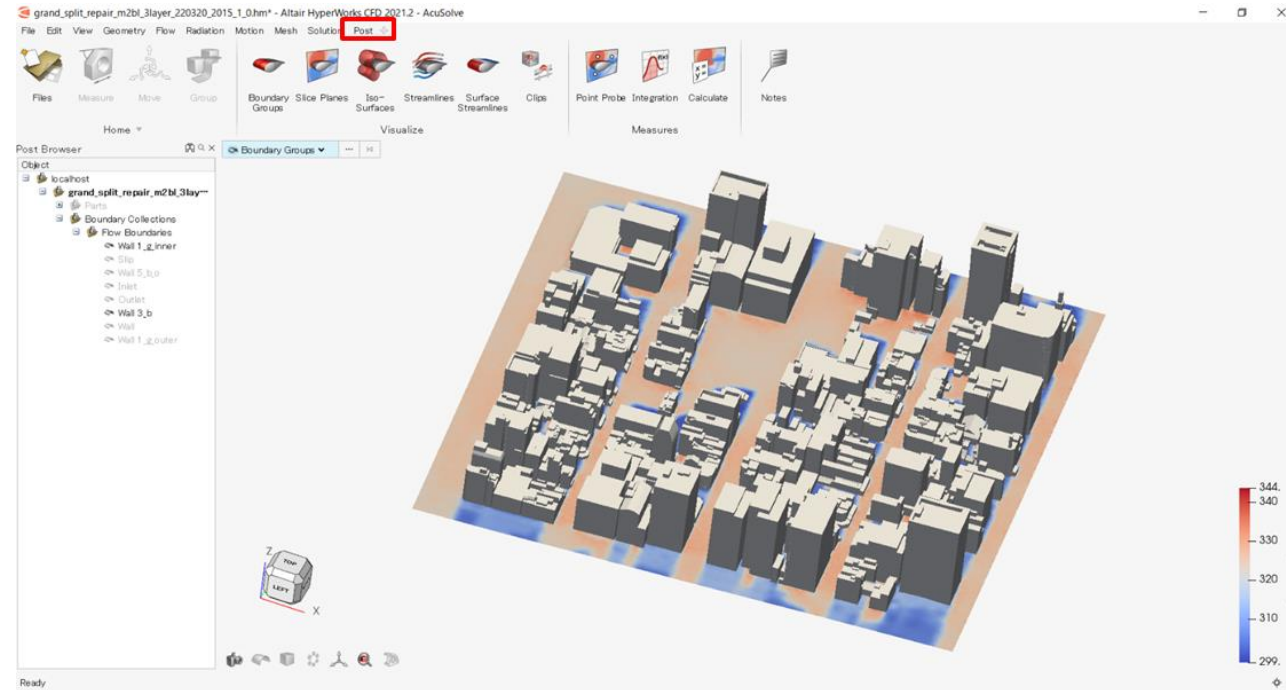
- SolutionリボンのSimulationツールの'Run'アイコンをクリック。
-  ボタンをクリックし解析を実行する。解析実行中は、Run Statusダイアログが表示される。
- 解析が終了し、Statusがに変更される。



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

(14) ポストプロセッシング処理

- ・処理概要
- ・Postリボンに移動し、結果表示する。
- ・温度コンターや速度ベクトル表示を行う（下図は、地面の温度をカラーコンターで表示した例）。



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
3D都市モデルのインポート	3D都市モデルをSTLファイルに変換し、HyperMeshへインポート可能な事を確認する。	○
温熱環境シミュレーション	3D都市モデルをもとにしたデータベースを利用し、温熱環境シミュレーションが可能な事を確認する。	○
シミュレーション結果の出力	3D都市モデルをもとにしたデータベースを利用し、温熱環境シミュレーションを実施した結果ファイルが出力される事を確認する。	○

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

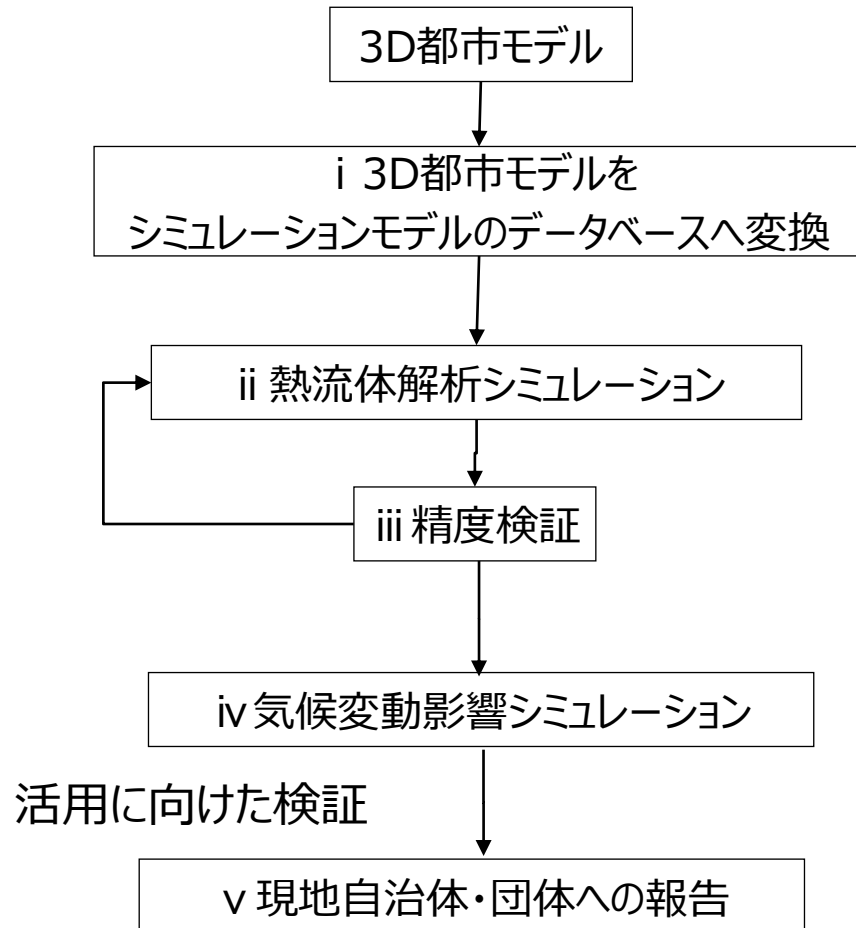
III. 実証システム

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



- i. 3D都市モデル（CityGML）をSTLファイルに変換し、熱流体解析シミュレーションモデルのデータベースファイル（hmファイル）に変換する。
- ii. 熱流体解析シミュレーション：
AcuSolveを利用して熱流体解析シミュレーションを実施する。
- iii. 精度検証：
ii で得られた結果と環境実測データの温度とを比較、検証する。
- iv. 気候変動影響シミュレーション：
ii で得られた精度検証結果から数十年先の将来的な気象変動の影響に環境変化をシミュレーションにより再現する。
- v. 現地自治体・団体への報告：
3D都市モデルを活用した気候変動影響シミュレーション報告・意見交換会を開催し、参加者によるディスカッションを実施する。

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

①検証内容 | 内容一覧

1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

- 1.1 現時点を対象としたシミュレーション結果
- 1.2 実測結果との比較
- 1.3 解析モデルの改良
- 1.4 LOD1とLOD2の比較
- 1.5 ガラス面積割合の設定有無の比較
- 1.6 気候変動影響シミュレーション結果

2. 西東京市を対象とした検証

- 2.1 現時点を対象としたシミュレーション結果
- 2.2 実測結果との比較
- 2.3 気候変動影響シミュレーション結果

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

対象地概要

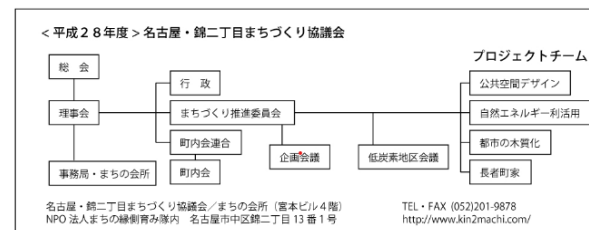
◆愛知県名古屋市中区錦二丁目地区

- 名古屋駅と栄地区の中間に位置する格子状街区 (400m×400m) の商業業務地



◆錦二丁目まちづくり協議会

- 2004年設立。2011年には「錦二丁目長者町まちづくり構想2030」を策定※1



◆錦二丁目エリアプラットフォーム (N2/LAB)

- 2020年設立。様々な主体がまちづくりの構想・研究・共創を進める実験の場※2



※1 錦二丁目まちづくり協議会, <<http://www.kin2machi.com/about.html>>

※2 錦二丁目エリアプラットフォーム (N2/LAB) , <<https://n2-lab.jp>>

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

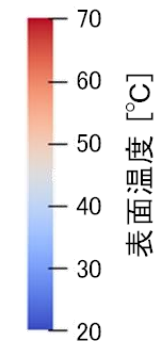
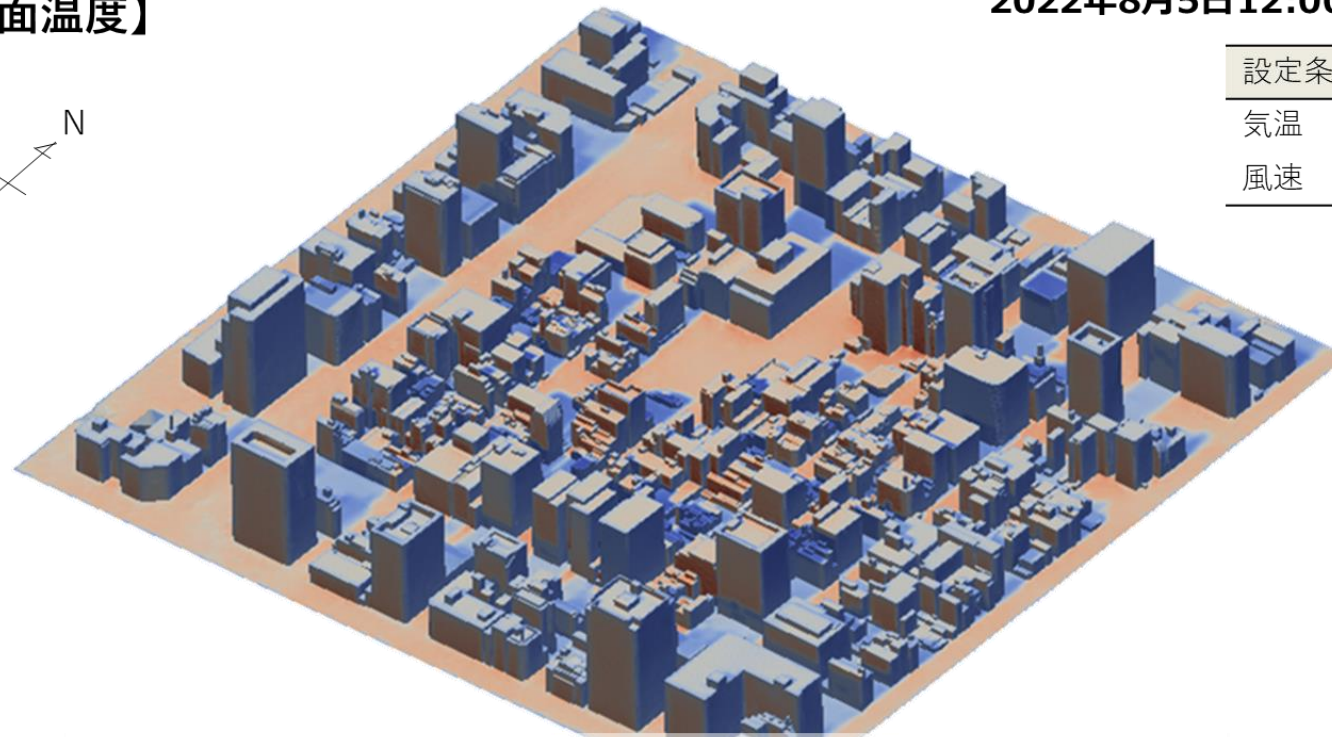
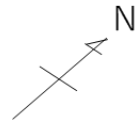
1.1 現時点を対象としたシミュレーション結果

【表面温度】

2022年8月5日12:00の温熱環境

設定条件

気温	35.0°C
風速	南1.0m/s



- 現時点（2022年）の夏季温熱環境を3D都市モデル上に可視化
 - 太陽光に伴う日向部分と日陰部分の温度差を把握可能に

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

1.1 現時点を対象としたシミュレーション結果



IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

1.1 現時点を対象としたシミュレーション結果

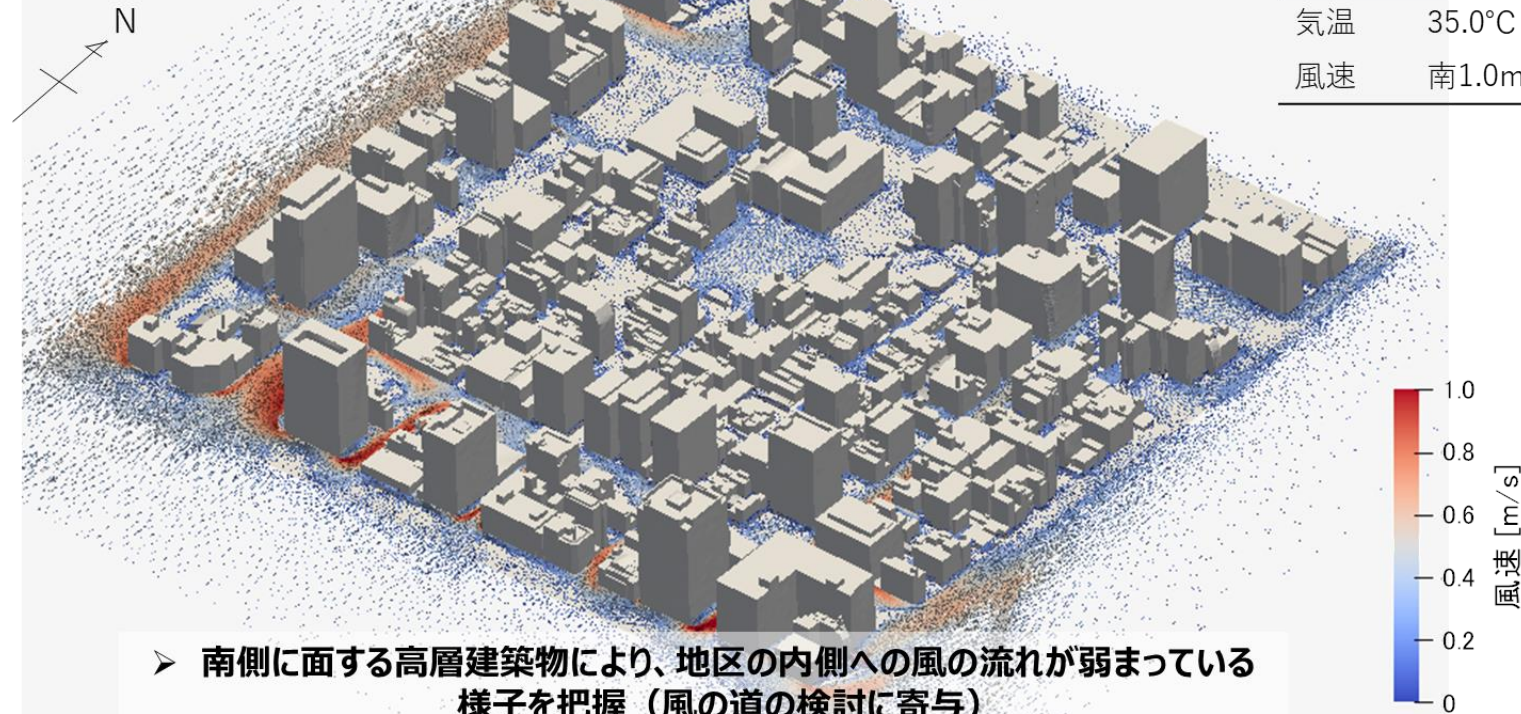
【地上1.1m風速】

2022年8月5日12:00の温熱環境

設定条件

気温 35.0°C

風速 南1.0m/s



➤ 南側に面する高層建築物により、地区の内側への風の流れが弱まっている様子を把握（風の道の検討に寄与）

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

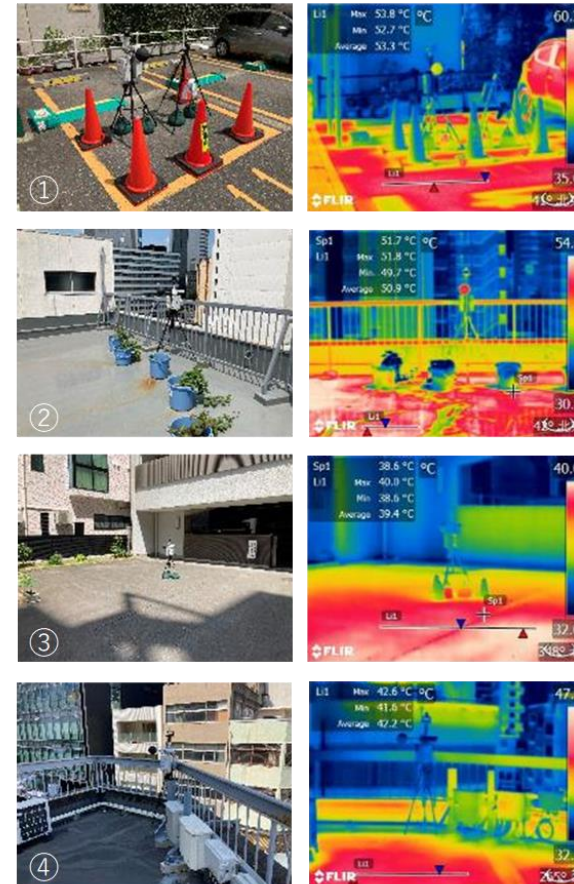
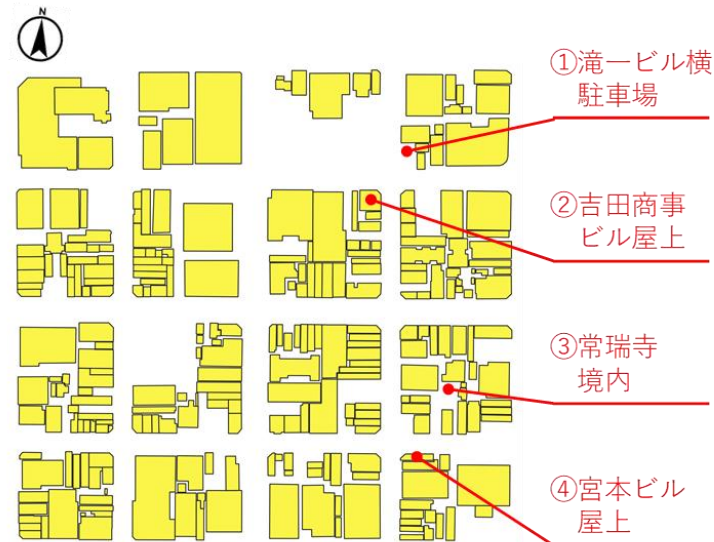
② 検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

1.2 実測結果との比較

◆環境実測概要

目的	解析結果との比較
測定日時	夏季：2021年8月4日～5日 10:00-18:00 冬季：2022年12月13日～14日 10:00-18:00
測定項目	気温、湿度、風向・風速、地表面温度、放射量
測定場所	4ヶ所（下記参照）

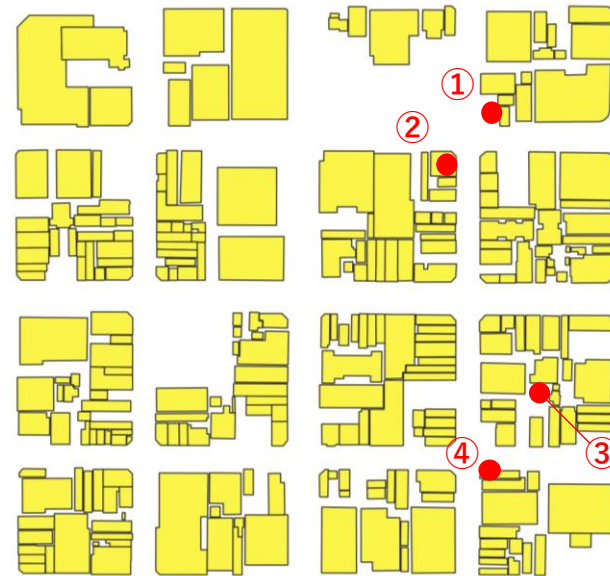


IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

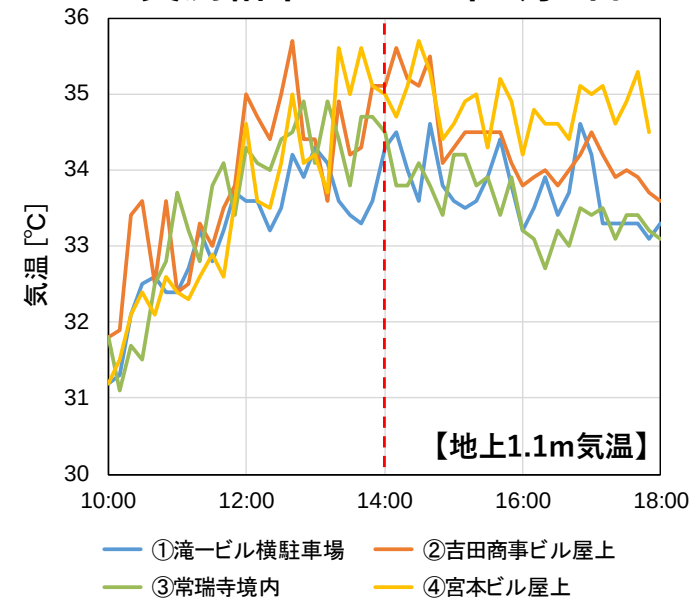
② 検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

1.2 実測結果との比較 (夏季)



実測結果：2021年8月5日

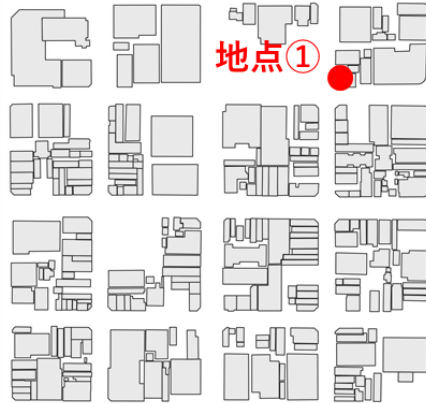


IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

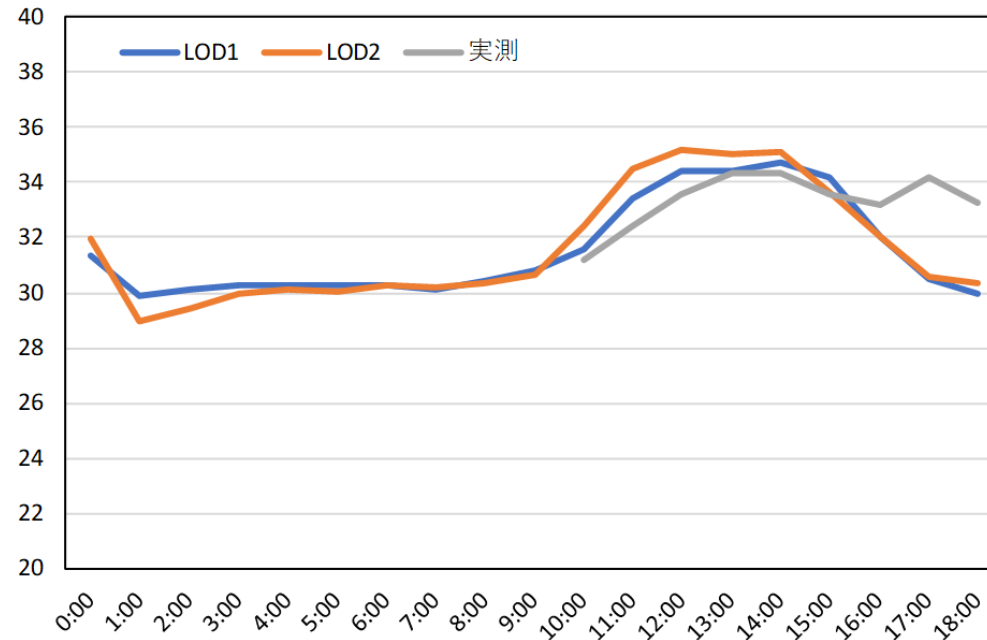
1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

1.2 実測結果との比較 (夏季)



実測の様子 (後述)

地点①における地上1.1m気温の日変化比較
(夏季：2021年8月5日)



➤ 解析と実測で概ね同様の推移となることが確認された
(地面の蓄熱の影響が15時以降の差異に表れている可能性がある)

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

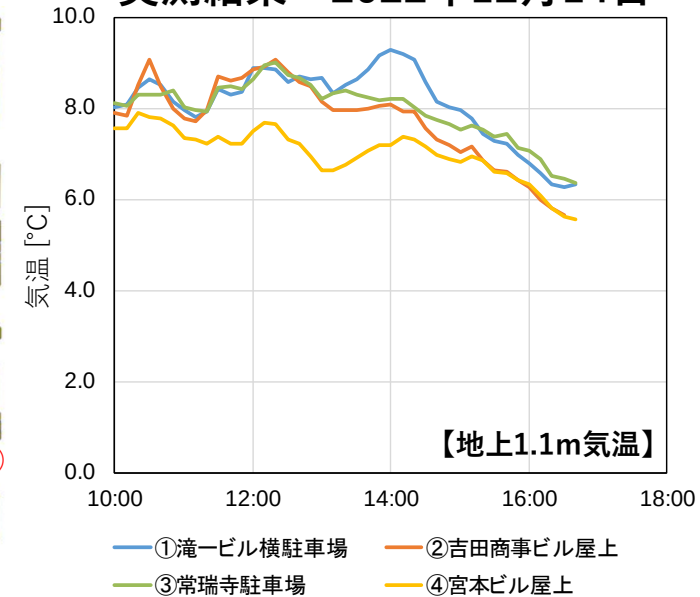
② 検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

1.2 実測結果との比較（冬季）



実測結果：2022年12月14日

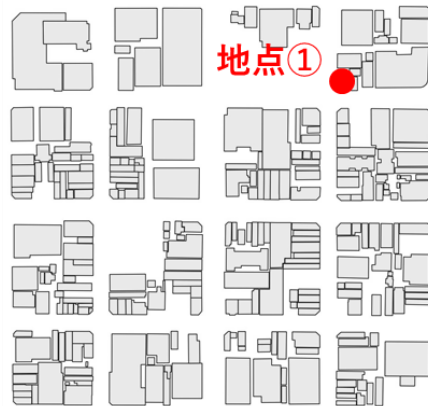


IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

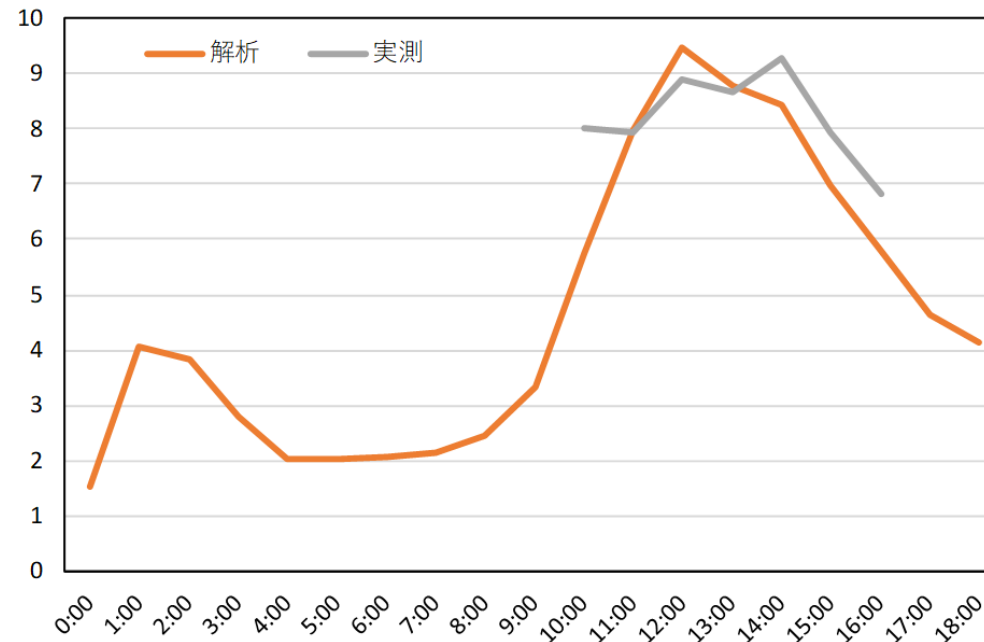
1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

1.2 実測結果との比較（冬季）



①
実測の様子（後述）

地点①における地上1.1m気温の日変化比較
(冬季：2022年12月14日)



➤ 冬季においても解析と実測で概ね同様の推移を示すことを確認

Ⅳ. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

1.3 解析モデルの改良

本シミュレーションでは地面の蓄熱の影響を十分に考慮できていないため、特に夏季のシミュレーションにおいては実測結果と比べて15時以降の気温が下回る傾向にある。地面を任意に発熱させることでこの課題を暫定的に対策したモデルを用意し、両者の解析結果の比較を行った。

- ケース1：発熱未設定モデル（夏季）

- 前述のLOD2のモデル

- ケース2：発熱設定モデル（夏季）

- 前述のLOD2のモデルに対し、全ての地面が発熱する設定を加えることで蓄熱を擬似的に再現したモデル（発熱量は任意に決定した暫定的なものである）

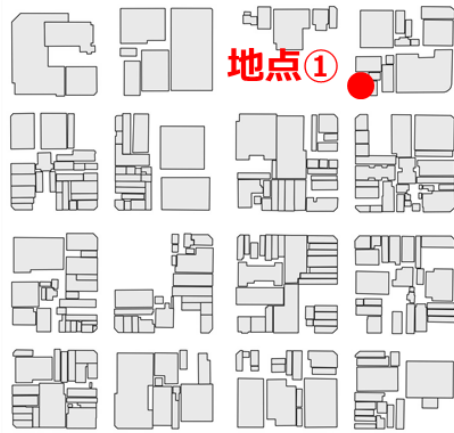
※ 発熱量 15時台：100W/m²、16時台：200W/m²、17時台：300W/m²、18時台：400W/m²

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

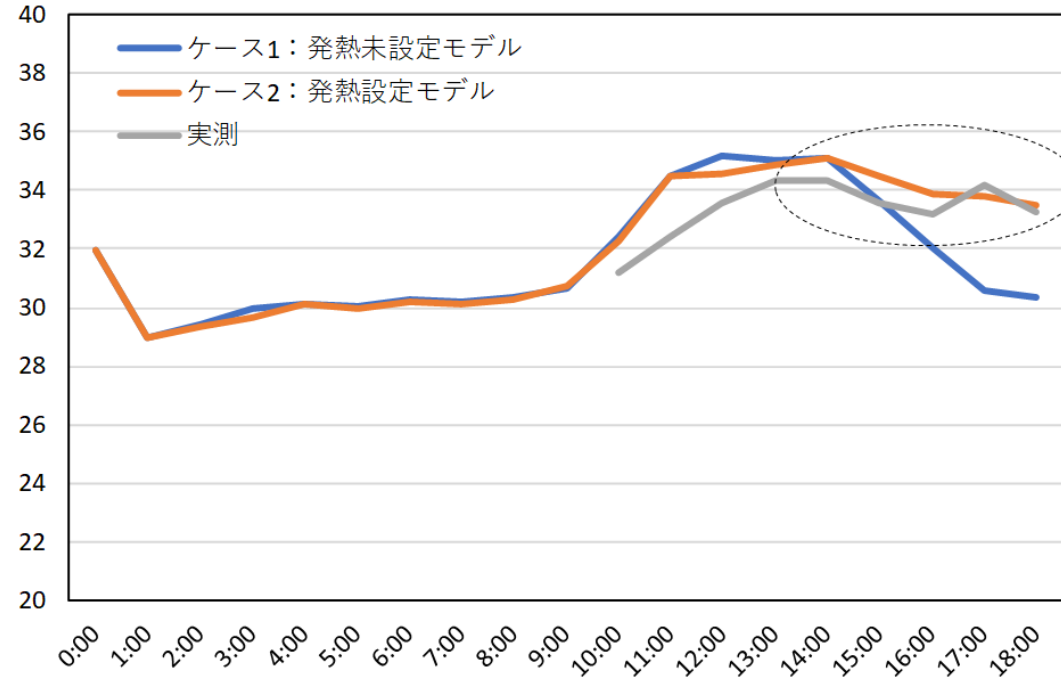
1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

1.3 解析モデルの改良



①
実測の様子（後述）

地点①における地上1.1m気温の日変化比較
（夏季：2021年8月5日）



➤ 15時以降において、実測結果と近い気温推移が再現された

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

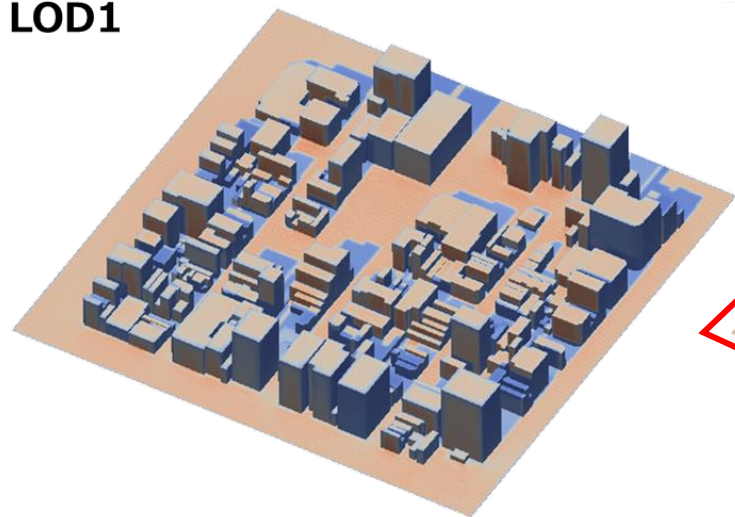
1.4 LOD1とLOD2の比較

改良後の解析モデルを用いて、3D都市モデルの建築物モデルの詳細度の差異（LOD1とLOD2）によるシミュレーション結果への影響を分析した。

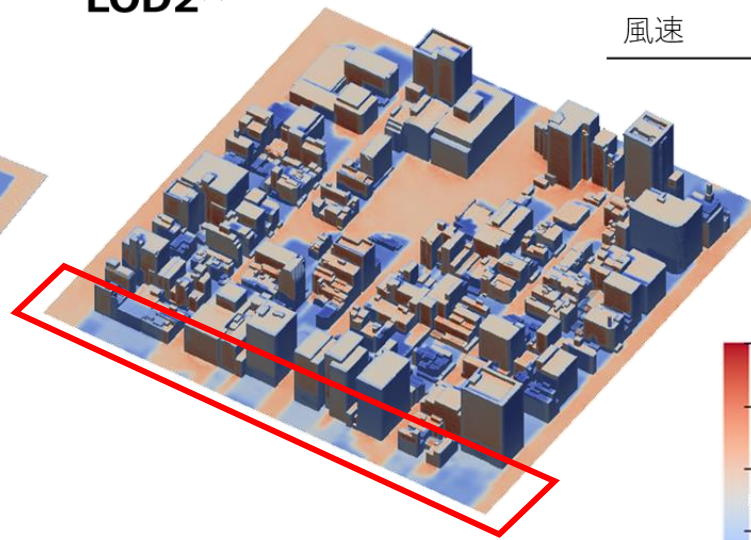
【表面温度】

2022年8月5日12:00の温熱環境

LOD1



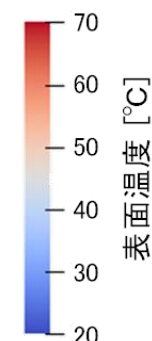
LOD2※



設定条件

気温 35.0°C

風速 南1.0m/s



- LOD1とLOD2の同様のシミュレーション結果を比較すると、LOD2では建物形状の詳細化により日陰分布の精度などが向上
- ※ 内側の16街区のみ示しているため、LOD2における南側道路の日陰部分は前方の建築物による影響である

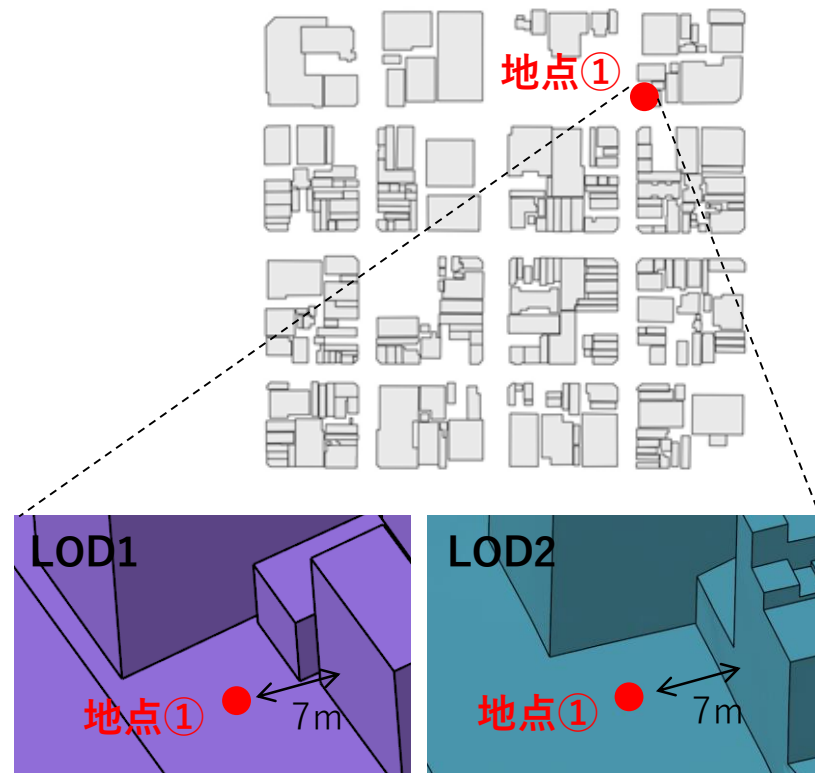
IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

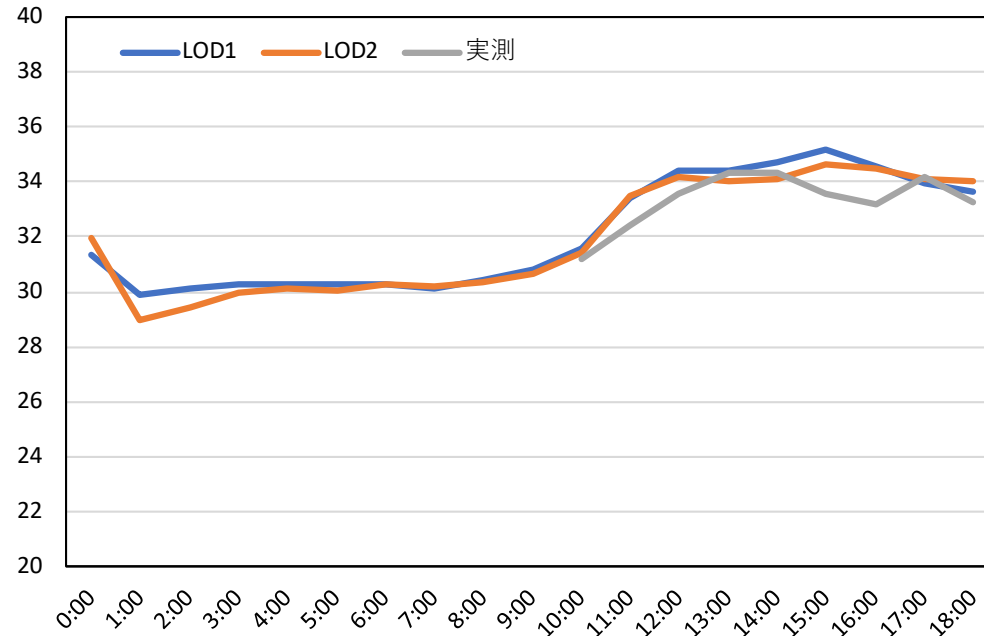
1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

1.4 LOD1とLOD2の比較

地点①における地上1.1m気温の日変化比較
 (夏季：2021年8月5日)



周囲の建築物表面から約7m



- 日陰分布の差異などにより、LOD1とLOD2でわずかに推移の違いが見られた
 (建物形状の詳細化により、LOD2の方がわずかに実測と近い推移を示している)

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

1.5 ガラス面積割合の設定有無の比較

本シミュレーションでは、各建築物におけるガラス面積割合を現地調査にて確認し、モデルに反映した。このプロセスの重要性を確認するために、ガラス面積割合を未設定のモデルを用意し、両者の解析結果の比較を行った。

- ケース1：ガラス面積設定モデル（夏季）

- 前述のLOD2のモデル

- ケース2：ガラス面積未設定モデル（夏季）

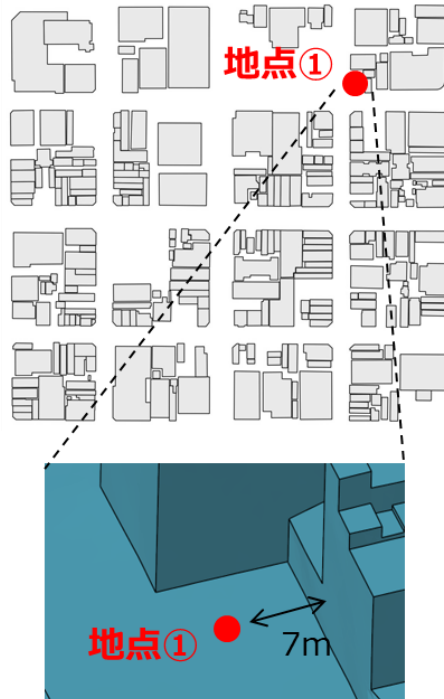
- 前述のLOD2のモデルに対し、ガラス面積割合の設定を省略し、全ての建築物表面においてガラスがないものと仮定したモデル

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

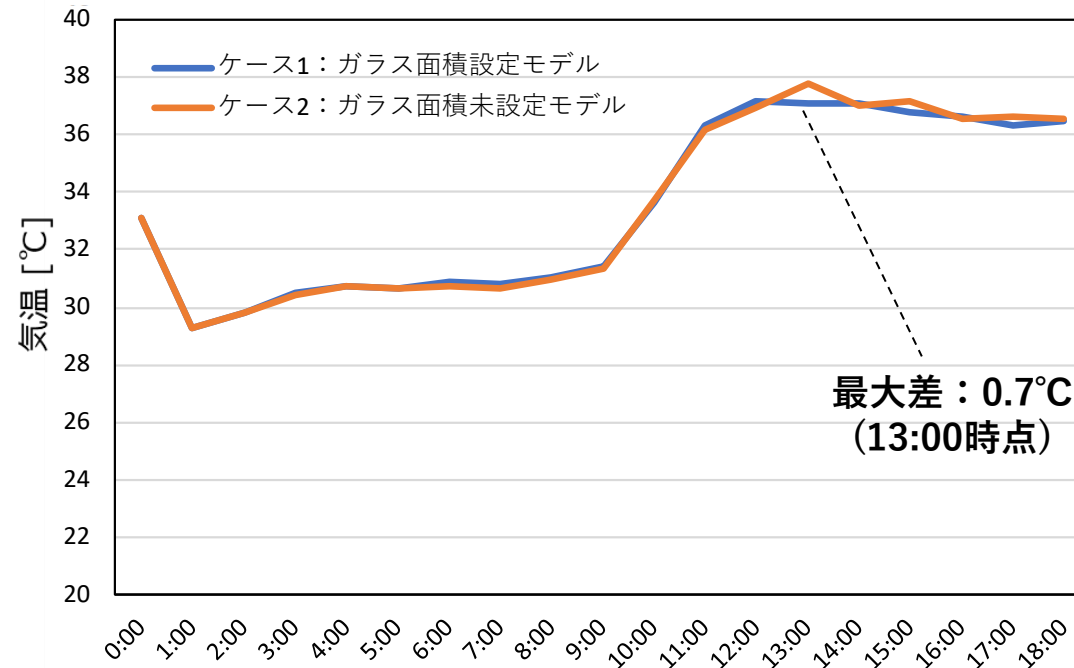
1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

1.5 ガラス面積割合の設定有無の比較



周囲の建築物表面※
から約7m

地点①における地上1.1m気温の日変化比較
(夏季：2021年8月5日)



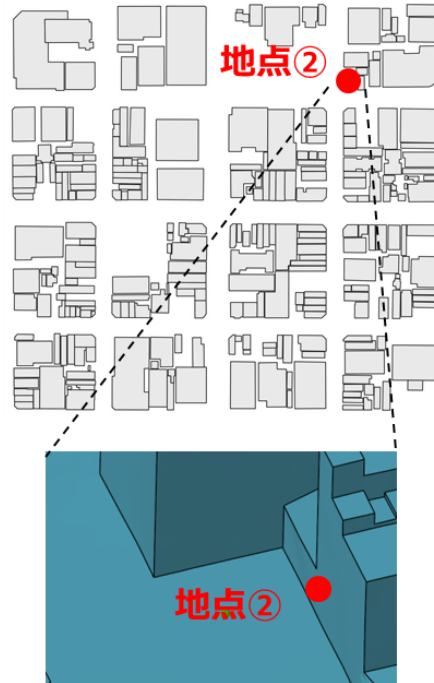
➤ 周囲の建築物から離れている場所では、誤差は比較的小さい

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

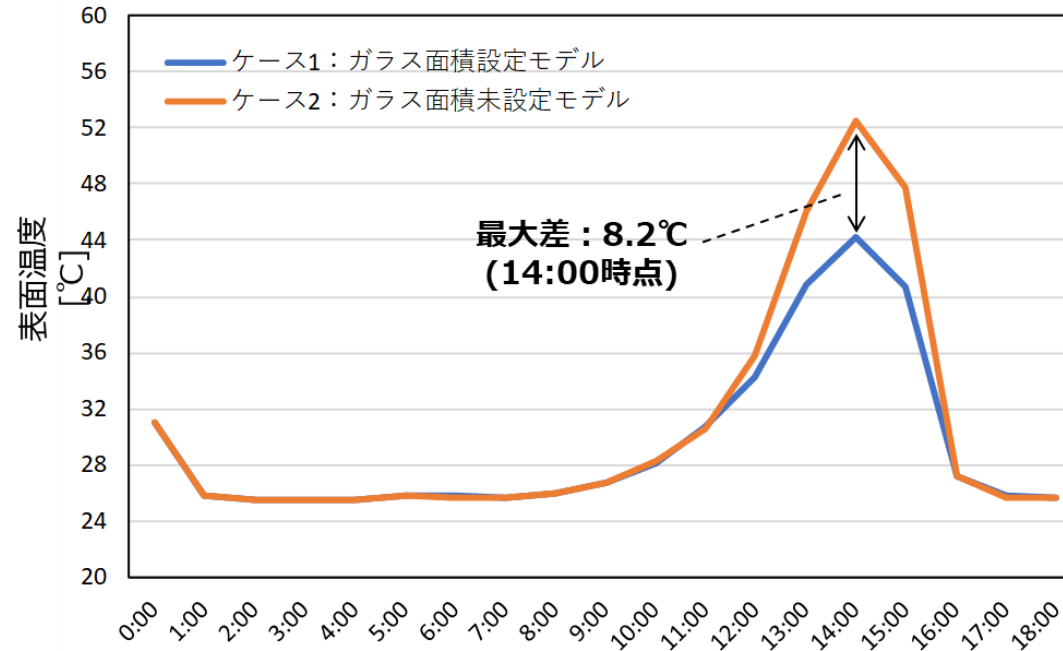
1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

1.5 ガラス面積割合の設定有無の比較



建築物表面※

地点②における表面温度の日変化比較
(夏季：2021年8月5日)



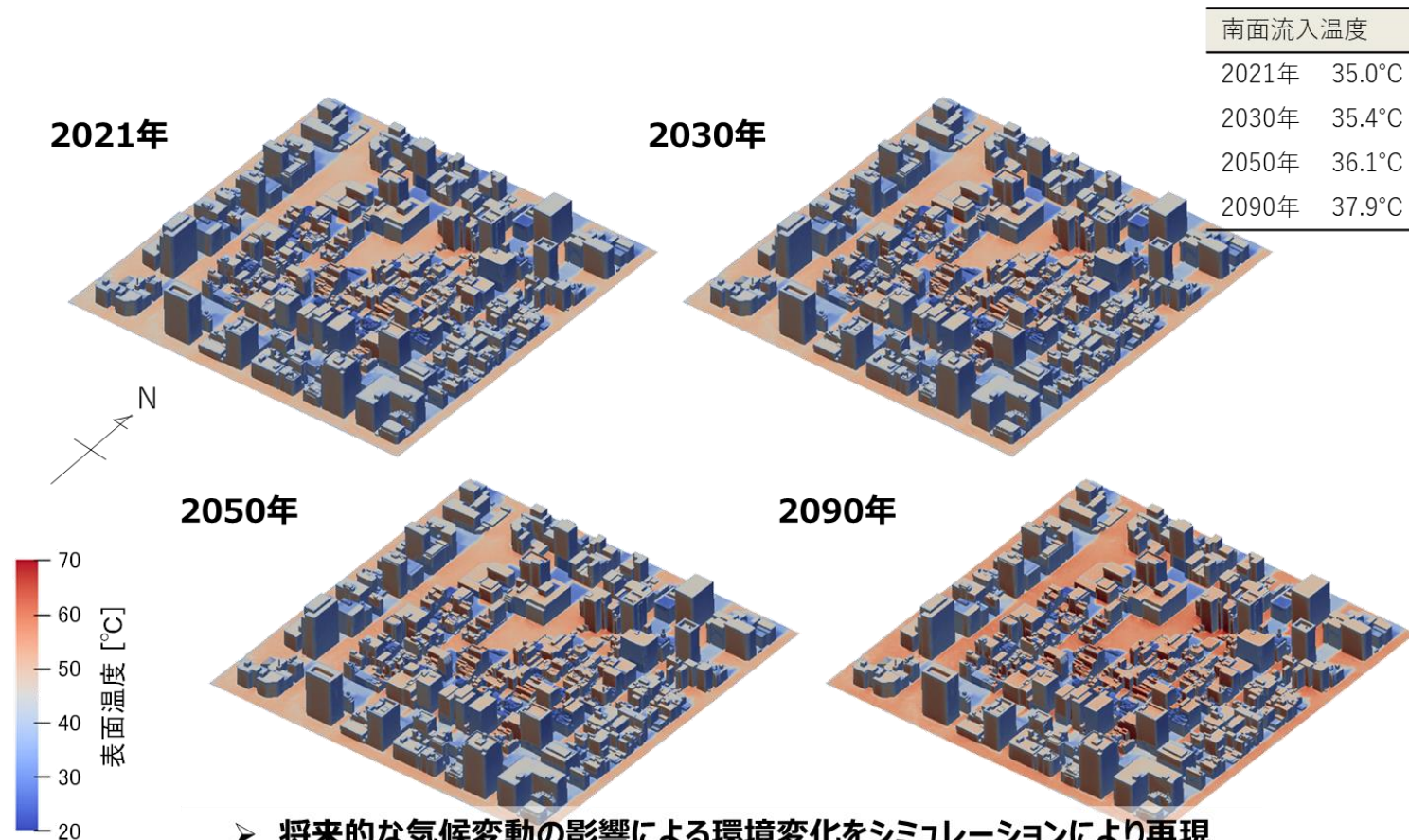
- ガラスのない建築物表面では、日射が吸収されやすいため表面温度が大きく上昇（コンクリートとガラスの表面温度差は夏季日中では10～30℃となり、ガラス面積割合の値：50%を考慮すると解析結果は妥当と判断できる）

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 名古屋市中区錦二丁目

1. 名古屋市中区錦二丁目を対象とした検証

1.6 気候変動影響シミュレーション結果



➤ 将来的な気候変動の影響による環境変化をシミュレーションにより再現
 (2090年までに表面温度が場所によって約3~6℃※上昇することを確認)

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

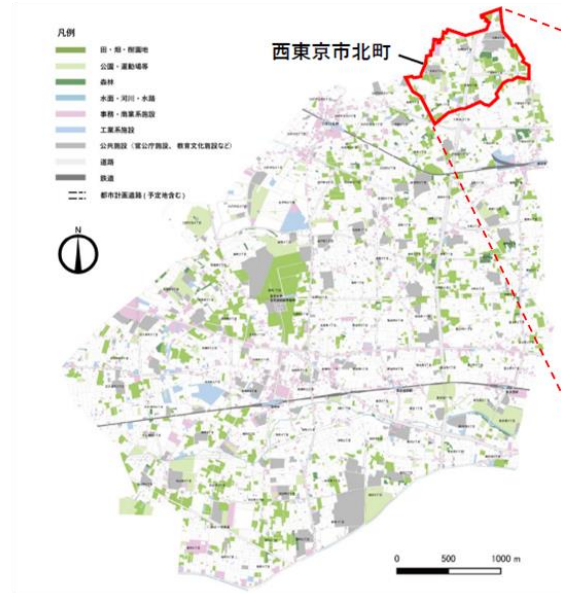
② 検証結果 | 西東京市

2. 西東京市を対象とした検証

対象地概要※ (例：北町)

◆西東京市

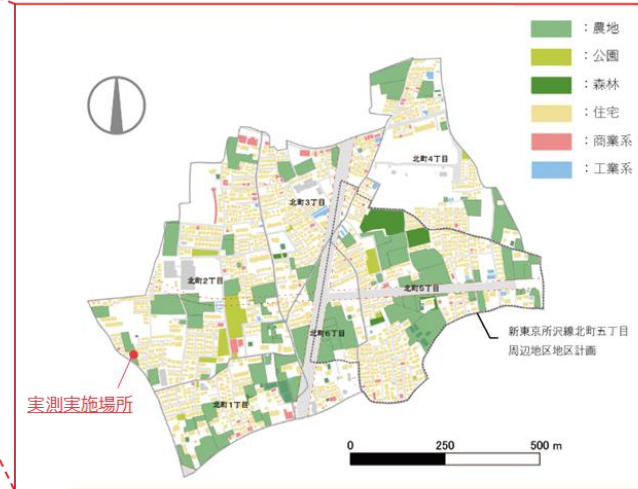
- 東京都多摩地域東部に位置。農地と宅地が混在する市街地が広がる



面積：1,585ha 農地面積：135ha
人口：199,790人 (うち生産緑地は117.6ha)

◆西東京市北町

- 西東京市最北部に位置。市内でも特に多くの農地が残っている



面積：78ha 農地面積：11.4ha
人口：5,954人 (うち生産緑地は10.1ha)

※西東京市土地利用現況調査（H29）より

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

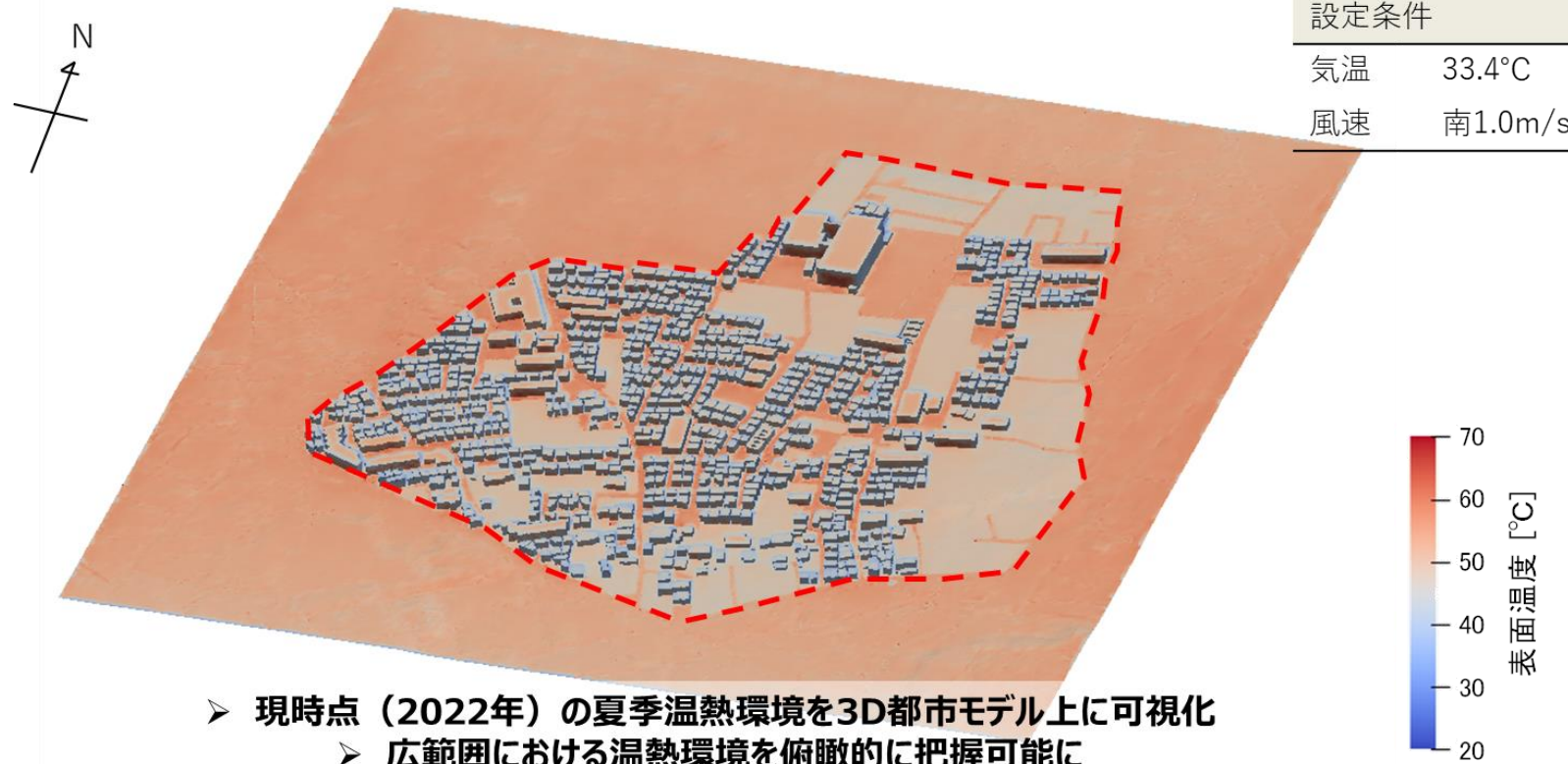
②検証結果 | 西東京市

2. 西東京市を対象とした検証

2.1 現時点を対象としたシミュレーション結果

【表面温度】

2022年7月31日12:00の温熱環境



- 現時点（2022年）の夏季温熱環境を3D都市モデル上に可視化
- 広範囲における温熱環境を俯瞰的に把握可能に

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 西東京市

2. 西東京市を対象とした検証

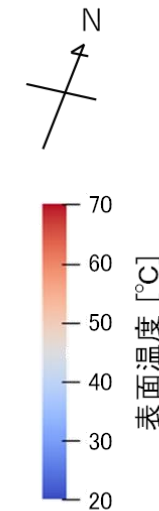
2.1 現時点を対象としたシミュレーション結果

【表面温度】

2022年7月31日12:00の温熱環境



設定条件	
気温	33.4℃
風速	南1.0m/s



➤ 畑（緑地を想定）が駐車場よりも表面温度が7～10℃※ほど低いことを確認

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 西東京市

2. 西東京市を対象とした検証

2.1 現時点を対象としたシミュレーション結果

【地上1.1m気温】

2022年7月31日12:00の温熱環境



設定条件

気温 33.4°C

風速 南1.0m/s

➤ 地上1.1m気温は風の影響を大きく受け、表面温度とは異なる分布を示す

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 西東京市

2. 西東京市を対象とした検証

2.1 現時点を対象としたシミュレーション結果

【地上1.1m風速】

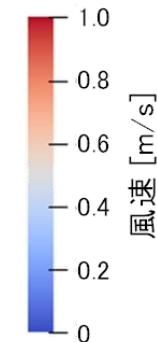
2022年7月31日12:00の温熱環境



設定条件

気温 33.4°C

風速 南1.0m/s



➤ 左の畑は南北に長い形状であるため、風の流れが相対的に良好である様子を確認

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

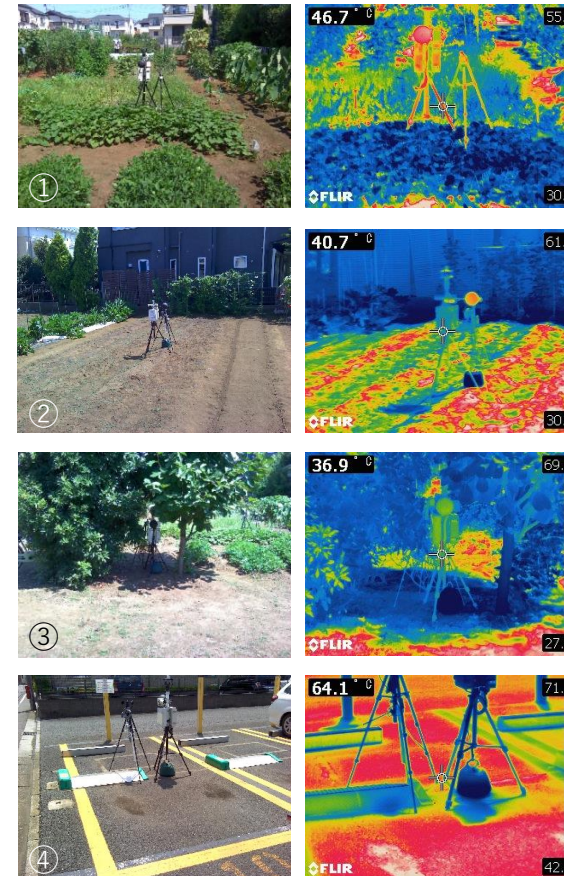
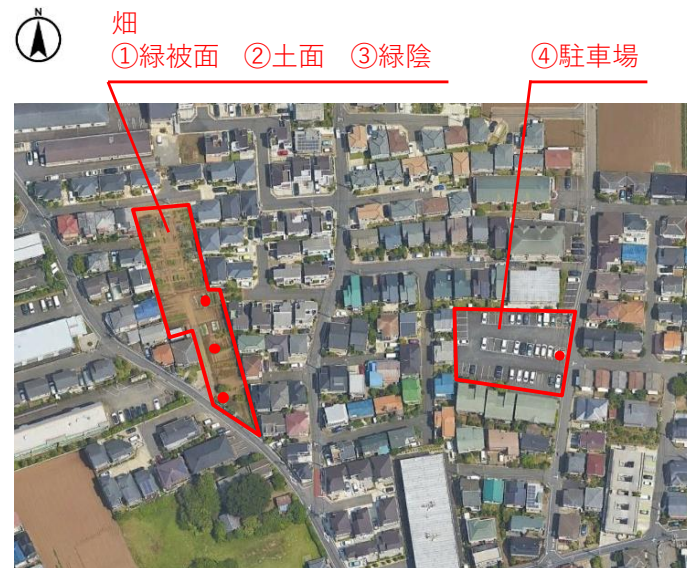
② 検証結果 | 西東京市

2. 西東京市を対象とした検証

2.2 実測結果との比較

◆ 実測調査概要

目的	解析結果との比較
測定日時	2022年7月31日～8月5日 10:00-18:00
測定項目	気温、湿度、風向・風速、地表面温度、放射量
測定場所	4ヶ所（下記参照）

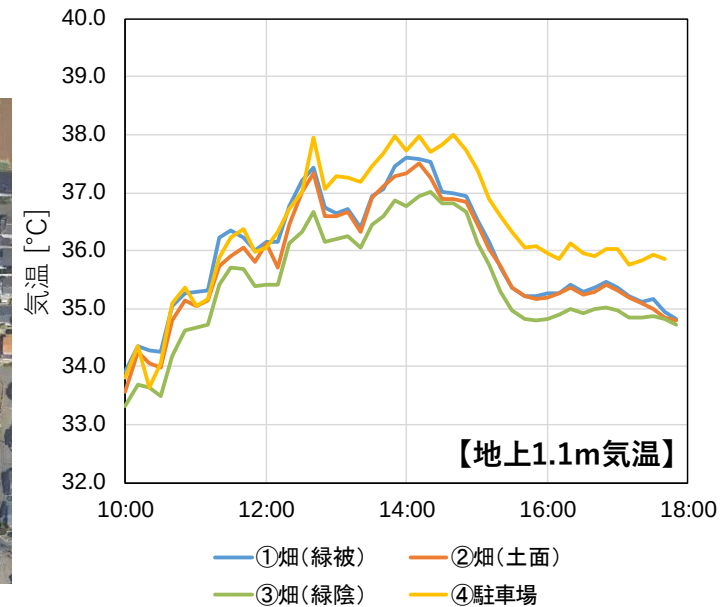


IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果 | 西東京市

2. 西東京市を対象とした検証

2.2 実測結果との比較



IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果 | 西東京市

2. 西東京市を対象とした検証

2.2 実測結果との比較

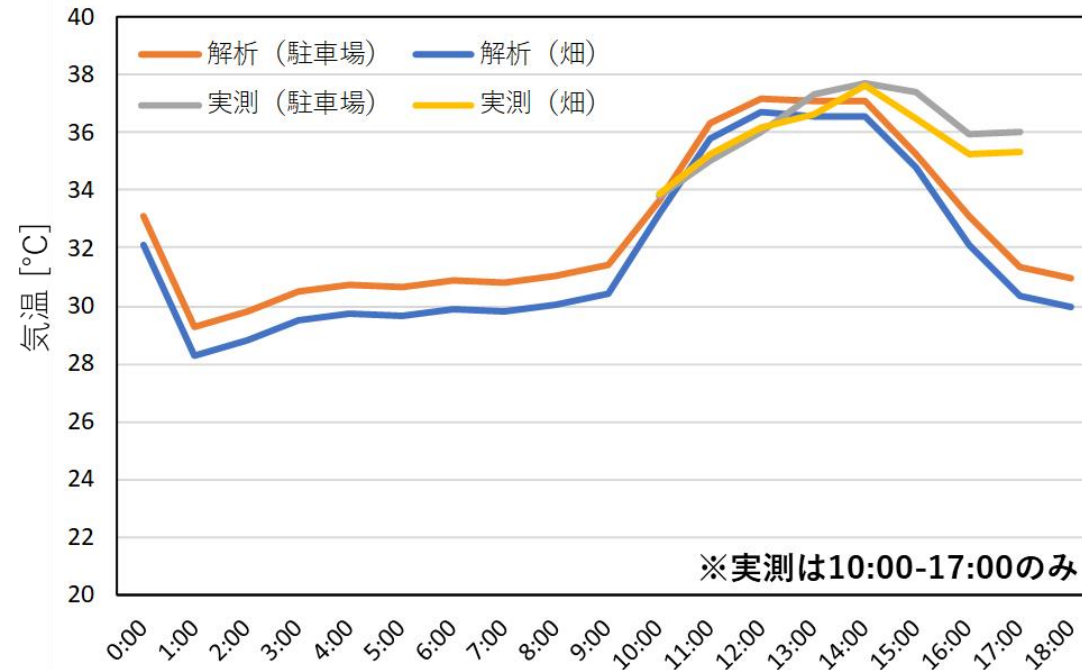
実測（駐車場）



実測（畑）



各地点における地上1.1m気温の日変化比較



- 解析と実測で概ね同様の推移を示し、特に畑と駐車場の日中の温度差が解析においても確認された

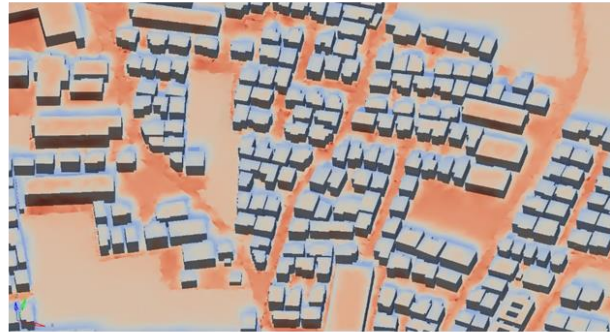
Ⅳ. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 西東京市

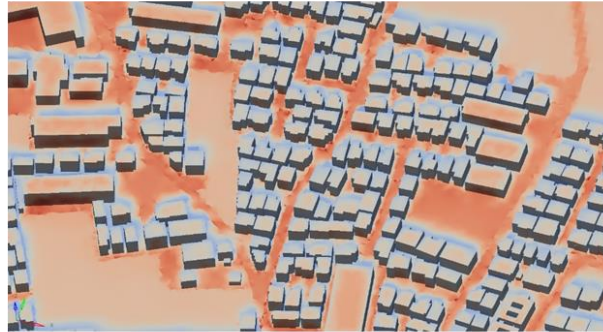
2. 西東京市を対象とした検証

2.3 気候変動影響シミュレーション結果

2021年



2030年



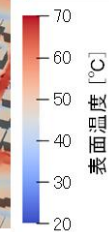
2050年



2090年



南面流入温度	
2021年	33.4℃
2030年	33.8℃
2050年	34.5℃
2090年	36.3℃



➤ 将来的な気候変動の影響による環境変化をシミュレーションにより再現
(2090年までに表面温度が場所によって約3～6℃※上昇することを確認)

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果

項目	成果	課題
現時点の気象条件下における温熱環境シミュレーション	3D都市モデルを対象としたCFD解析により、現時点の夏季日中における温熱環境を視覚的に把握することが可能となった。 - 現時点における表面温度の結果では、太陽光に伴う日向部分と日陰部分の温度差が明確に表れ、街区形状や土地利用による温度分布の偏在が明らかになった。錦二丁目は格子状の街区配置であるため、正午時点において南北方向の道路・歩道では直射日光を遮る建物が少なくなり表面温度が高まりやすい。西東京市においても道路や駐車場などアスファルトで覆われた場所は表面温度が高まりやすいが、一方で市街地に分布する畑の表面では温度の上昇が抑えられている。 - このとき歩行者レベルである地上1.1m気温の結果では、建物表面の近くでは太陽光を捕捉するために温度が高く、特に建物南側にて温度が相対的に高い傾向がみられた。さらに錦二丁目では高い建物が多いことなどから気流が滞り、温められた空気が留まる場所が生じている。西東京市でも同様の傾向は見られるが、南北に長い形状の畑などでは気流が生じているため相対的に気温が低い様子がみられた。	3D都市モデルにおいては建物と地面の分解能に違いがあり、CFD解析に向けて両者を結合する作業に労力を要した。CFD解析においては対象モデルが閉じた空間でなくてはならないため、両者に生じる隙間を手作業で個々に修正する必要性が生じた。 - 今後はこれらの作業を自動化する技術の構築が望まれる。 3D都市モデルの各建物表面のガラス面積割合の把握において現地調査を要するなど、表面条件の設定に一定の工数を要した。今後は3D都市モデルに付属するテクスチャデータからガラス面を自動的に特定する技術などの構築が望まれる。 - 街なかのアーケードや街路樹などの地物について3D都市モデルを活用することができれば、温熱環境の詳細化に加えて、まちづくりにおける暑熱対策の効果検証にも役立つ。

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果

項目	成果	課題
シミュレーション結果と実測結果の比較	シミュレーション結果の妥当性検証のため対象地の2022年夏季日中の実測調査を実施し、両者の結果において一定の整合性を確認した。さらに、この結果を踏まえて地面の蓄熱の影響を追加で設定するなどの改善を行った。	シミュレーション上で蓄熱の影響を設定しない場合、地上1.1m気温の日変化において実測値よりも15時以降の数値が低くなるなどの差異が生じた。今後は蓄熱の影響の設定方法に関する科学的な妥当性を検証することが望まれる。
LOD1とLOD2の比較	LOD1とLOD2の同条件におけるシミュレーション結果を比較すると、LOD2では建物形状の詳細化により日陰分布の精度などが向上した。一地点における両者の気温日変化に着目すると、日陰分布の差異などによりわずかに推移の違いが見られた。	LOD3などさらに詳細な3D都市モデルが整備された際、同様にシミュレーション結果比較を実施していくことが望まれる。
ガラス面積割合の設定有無の比較	本シミュレーションでは、各建築物におけるガラス面積割合を現地調査にて確認し、モデルに反映した。このプロセスの重要性を確認するために、ガラス面積割合を未設定のモデルを用意し、両者の解析結果の比較を行った。その結果、特に建物の表面温度において両者の結果に最大約8℃ほどの差異が生じることがわかった。	ガラス面積割合を解析モデルに反映することの重要性が明確となったため、前述の通り、今後は3D都市モデルに付属するテクスチャデータからガラス面を自動的に特定する技術などの構築が望まれる。

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果

項目	成果	課題
気候変動下の温熱環境シミュレーション	- 現時点のシミュレーション結果を基に気象条件の将来予測データを参照することにより、2030年・2050年・2090年の将来の夏季日中における温熱環境を把握することが可能となった。 - 今後の気候変動が深刻に進行する状況を想定すると、2090年までに温熱環境が大きく悪化する様子がみられた。錦二丁目、西東京市の各地点において、2090年までに表面温度は約3～6℃、地上1.1m気温は約2～4℃上昇する様子が確認され、人間の体感温度や熱中症リスクに大きく影響を及ぼすことが示された。特に、小さい子どもや高齢者はこれらの影響を受けやすいため、今後の気温上昇に適応した歩きやすいまちづくりを推進する必要性のエビデンスとなった。	気象条件の将来予測データは気候変動の進行度によって複数の種類が存在する。本検証では気候変動が深刻に進行する状況を再現したが、今後は複数のシナリオ下におけるシミュレーションを実施することが望まれる。

IV. 実証技術の検証 > 2.政策活用に向けた検証

①検証内容 | 名古屋市・西東京市関係者との意見交換

名古屋市・西東京市関係者との意見交換一覧

シミュレーション計画・結果に関する現地自治体・団体との協議

名古屋市 錦二丁目	① 2022年5月17日：シミュレーション計画の協議（現地会議室＋オンライン） ② 2022年7月 8日：シミュレーション進捗の協議（現地会議室＋オンライン） ③ 2022年10月4日：シミュレーション進捗の協議（現地会議室＋オンライン） ④ 2022年12月13日-14日：環境実測調査（錦二丁目各所） ⑤ 2023年1月18日：シミュレーションの報告・意見交換会（東京大学＋オンライン）
西東京市	① 2022年4月12日：シミュレーション計画の協議（西東京市役所） ② 2022年5月17日：環境実測計画の協議（西東京市内の現地視察） ③ 2022年7月31日-8月5日：環境実測調査（西東京市内各所） ④ 2023年1月18日：シミュレーションの報告・意見交換会（東京大学＋オンライン）

- 現地自治体・団体と複数回の協議を実施（KPI：3回以上を達成）

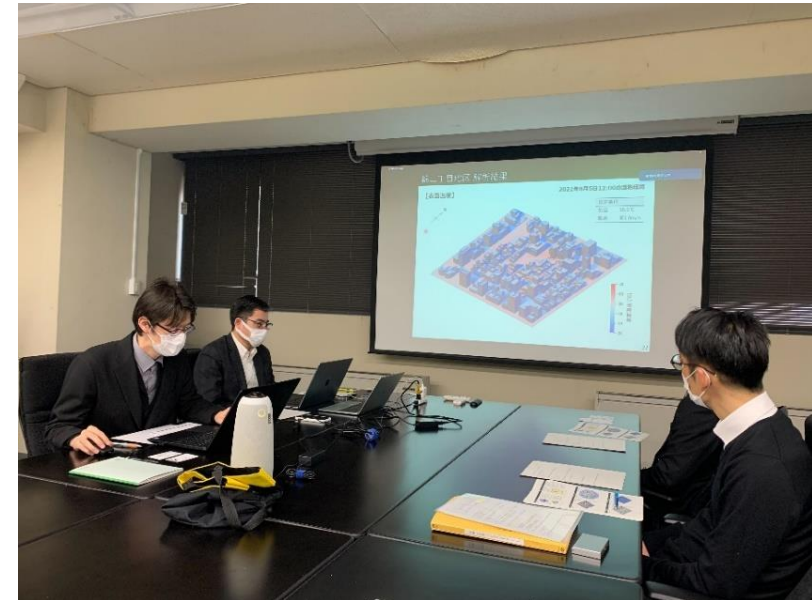
Ⅳ. 実証技術の検証 > 2.政策活用に向けた検証

①検証内容 | 名古屋市・西東京市関係者との意見交換

名古屋市・西東京市関係者との意見交換会の開催

気候変動影響シミュレーションの報告・意見交換会の概要

目的	実証実験の成果発表、参加者ディスカッション
実施期間	2023年1月18日（水） 16：00～17：30
実施形式	対面＋オンライン会議のハイブリッド
実施場所	東京都文京区本郷7-3-1 東京大学工学部14号館8階 802会議室
主な参加者	名古屋市住宅都市局・環境局／錦二丁目エリアマネジメント株式会社 西東京市まちづくり部／西東京市都市農地保全・創造ワークショップ関係者 アルテアエンジニアリング株式会社／東京大学／国土交通省／三菱総合研究所



開催の様子

IV. 実証技術の検証 > 2.政策活用に向けた検証

①検証内容 | 名古屋市・西東京市関係者との意見交換

名古屋市・西東京市関係者との意見交換会の開催

気候変動影響シミュレーションの報告・意見交換会のプログラム

16:00-16:40 気候変動影響シミュレーション報告

1. 気候変動に適応する都市計画・まちづくりに向けて
2. 3D都市モデルとCFD解析ソフトの紹介
3. 名古屋市錦二丁目地区の気候変動影響シミュレーション
4. 東京都西東京市の気候変動影響シミュレーション

16:40-17:30 参加者ディスカッション

議題1 : シミュレーション結果を見た印象

議題2 : 気候変動に適応する都市計画・まちづくりのアイデア

議題3 : 3D都市モデル・CFD解析技術の都市計画・まちづくりの活用方法

IV. 実証技術の検証 > 2.政策活用に向けた検証

②検証結果

名古屋市・西東京市関係者との意見交換

気候変動影響シミュレーションの報告・意見交換会でのディスカッション内容

【概要】

参加者からは各地の将来的な気候変動影響を視覚的に示すことで危機感や対策の必要性について共有することができたとコメントをいただき、またこのプロセスにおいて3D都市モデルの有用性について高い評価を得ることができた。特に、街なかに日陰を作ることの有効性がエビデンスをもって示されたため、まちづくりを通じた暑熱対策としてアーケードの存廃・街路樹の維持や農地保全の重要性などについて議論が交わされた。

【議題1：シミュレーション結果を見た印象】

- これまで感覚で認識していた畑の効果などをシミュレーションによって知ることができた
- 夏季の都心部は現在でも暑さが厳しく、将来に向けた危機感を共有することができた

【議題2：気候変動に適応する都市計画・まちづくりのアイデア】

- 今回のシミュレーションを基に多くの方々にまちづくりを考え、エリアの価値向上につながるツールが構築できるとよい
- 人々の行動パターンなどのデータと組み合わせ、暑さが危険な場所や時間を把握することにつなげたい

【議題3：3D都市モデル・CFD解析技術の都市計画・まちづくりの活用方法】

- 3D都市モデルに含まれている水害ハザードマップなどと組み合わせ、様々な観点からリスクを評価できると良い
- 3D都市モデルをベースに、ヒューマンスケールのデータ（細かい構造物など）を自分たちで追加できるようになると面白い

Ⅳ. 実証技術の検証 > 2.政策活用に向けた検証

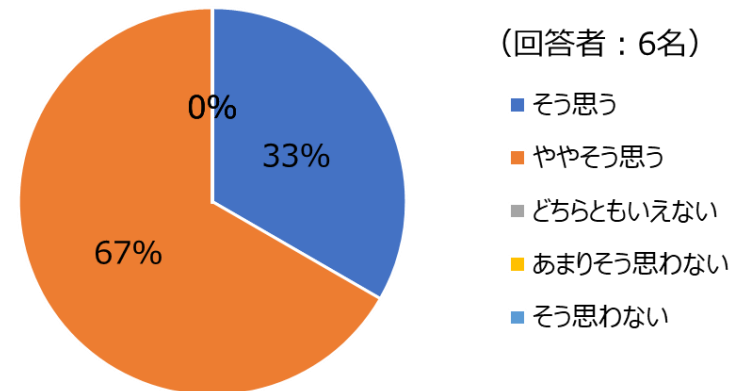
②検証結果

名古屋市・西東京市関係者との意見交換

気候変動影響シミュレーションの報告・意見交換会でのアンケート内容

問い：3D都市モデルは都市計画・まちづくりに利用可能だと思いますか？
（そう思う／ややそう思う／どちらともいえない／あまりそう思わない／そう思わない）

【結果】



➤ すべての回答者より3D都市モデルの有効性について一定の評価を得た（KPI：50%以上を達成）

IV. 実証技術の検証 > 2.政策活用に向けた検証

②検証結果



KPI	KPIの評価方法	達成度・結果
①シミュレーション計画・結果に基づく現地自治体・団体への報告回数(西東京市:3回、名古屋市中区錦二丁目:3回)	実績値をカウント	プロジェクトを通じて、西東京市関係者と5回、錦二丁目関係者と4回の協議を実施した（KPI：3回以上を達成）。
②現地自治体・団体、シミュレーション結果の有効性についてアンケートを実施し、有効性50%以上を目標とする	2023年1月18日に、「気候変動影響シミュレーションの報告・意見交換会」を開催し、参加者にアンケートを実施した。	すべての回答者より3D都市モデルの有効性について一定の評価を得た（KPI：50%以上を達成）。前ページに、アンケート概要を示す。

IV. 実証技術の検証 > 2.政策活用に向けた検証

②検証結果

項目	成果	課題
行政・まちづくり団体との意見交換、政策活用に向けた検証	本シミュレーション結果を基に、名古屋市・西東京市関係者との意見交換を実施した。参加者からは各地の将来的な気候変動影響を視覚的に示すことで危機感や対策の必要性について共有することができたとコメントをいただき、またこのプロセスにおいて3D都市モデルの有用性について高い評価を得ることができた。特に、街なかの日陰を作ることの有効性がエビデンスをもって示されたため、まちづくりを通じた暑熱対策としてアーケードの存廃・街路樹の維持や農地保全の重要性などについて議論が交わされた。	今後は地域の自治体やエリアマネジメント団体と協働して対象地の将来像をイメージし、さらに、暑熱対策を導入した場合の効果などを具体的に検証していくものとする。その際、街なかのアーケードや街路樹などの地物を3D都市モデルとして再現することで、温熱環境の再現性向上のみならず、まちづくりや個人で出来る暑熱対策の検討や議論に役立つと期待される。街の将来をイメージするときは、将来的な気候変動の進行度や社会経済状況の変化などを踏まえて複数のシナリオを想定することが望ましい。例えば、世界平均気温の上昇幅や人口動態に代表される地域情勢、都市化や適応策などの状況に応じた複数のビジョンを描いていく必要がある。

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

項目	想定される技術面での優位性
オープンデータの活用	従来の地区スケールの温熱環境シミュレーションにおいては、対象地の解析モデルの構築に向けて有償のデータを購入する必要が生じる場合が多かった。今回の検証により、無償で公開される3D都市モデルを活用した温熱環境シミュレーションのプロセスを構築することができた。
属性情報の付与	3D都市モデルの建築物モデル・土地利用モデルには都市計画基礎調査を由来とする属性情報が付与されており、CFD解析モデルを構築する際に建築物・地表面の熱的物性値を設定する上で根拠をもった決定をすることができた。
建築物モデルの詳細度	3D都市モデルの建築物モデルは詳細度がLOD1・LOD2などのように分類されており、目的に応じて使い分けることができる。具体的には、建築物LOD1では全体的な気流の傾向を把握でき、建築物LOD2では詳細な形状を反映することで日射による日陰の影響などを精緻に再現することが可能となる。本検証のような温熱環境シミュレーションの実施においては、着目する空間スケールに応じてモデルを選択することができた。

V. 成果と課題 > 1. 今年度の実証で得られた成果

②3D都市モデルによる政策面での優位性

項目	想定される政策面での優位性
非専門家の理解・合意形成	空間解析技術は専門的であるため、その実施過程は専門家等限られたステークホルダーで進められることが多いが、3D都市モデルはオープンデータであるとともにハンドブックや技術資料、活用事例が充実していることから、検証の計画段階から地域の地方公共団体やエリアマネジメント団体等の非専門家と利用イメージが共有しやすく、温熱環境を考慮したまちづくりの議論をスムーズに進めることができる。 また、CFD解析結果を3D都市モデル上で表現することで、非専門家でも分かり易く視認・理解できる。更に、関係者間で温熱環境についてイメージを共有できることに加えて、他のまちづくり計画や状況等も重畳して表現しながら、まちづくりにおける対策を検討することができる。

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
現時点の気象条件下における温熱環境シミュレーション	3D都市モデルにおいては建物と地面の分解能に違いがあり、CFD解析に向けて両者を結合する作業に一定の工数を要した。今後はこれらの作業を自動化する技術の構築が望まれる。 3D都市モデルの各建物表面のガラス面積割合の把握において現地調査を要するなど、表面条件の設定に一定の工数を要した。今後は3D都市モデルに付属するテクスチャデータからガラス面を自動的に特定する技術などの構築が望まれる。 3D都市モデルのLOD1やLOD2では街なかのアーケードや街路樹などの細かい形状は再現されていないため、今後のさらなる情報整備が望まれる。
気候変動下の温熱環境シミュレーション	気象条件の将来予測データは気候変動の進行度によって複数の種類が存在する。本検証では気候変動が深刻に進行する状況を再現したが、今後は複数のシナリオ下におけるシミュレーションを実施することが望まれる。
シミュレーション結果と実測結果の比較	シミュレーション上で蓄熱の影響を設定しない場合、地上1.1m気温の日変化において実測値よりも15時以降の数値が低くなるなどの差異が生じた。そこで、同モデルに対して15時以降に全ての地面が発熱する設定を加えることで蓄熱を擬似的に再現したモデルを用意し、結果として実測結果と近い気温推移が再現されたことを確認した。
シミュレーション結果を踏まえた意思決定	今回の検証ではシミュレーション結果を基に現地自治体・団体と意見交換を行ったが、物的環境形成に向けた具体的な意思決定の協議には至らなかった。理由として、これらの意思決定においては温熱環境以外にも予算面など様々な条件を考慮する必要があることが挙げられる。今後はこのような意思決定プロセスにおいてシミュレーション結果に加えて複数の条件を勘案した枠組みを構築することが望まれる。

用語		内容
ア行	Altair AcuSolve	アルテアエンジニアリング社が開発販売する汎用熱流体解析シミュレーションソフト。
	Altair HyperMesh	アルテアエンジニアリング社が開発販売するの有限要素法モデル、ならびに有限差分モデルを高速かつ効率的に作成する汎用プリ・ポストシステム。
	Altair HyperWorks CFD	アルテアエンジニアリング社が開発販売するAcuSolve向けプリ・ポスト・プロセッサ
	N2/LAB	エヌツーラボ、錦 2 丁目エリアプラットフォーム
カ行		
サ行	Spalart-Allmarasモデル	Spalart-Allmarasモデルは、渦粘性係数の輸送方程式を解くことによって渦粘性係数を計算するReynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) ベースの 1 方程式乱流モデル
	数値流体力学	英語：computational fluid dynamics、略称：CFD。流体の流れをモデル化した方程式（ナビエ-ストークス方程式など）をコンピュータで解くことによって、数値的に“模擬実験”を行い現象の予測を行うシミュレーション技術。

用語		内容
タ行		
ナ行	熱流体解析	数値流体力学（CFD）の1つの手法。流体の流れに熱の移動モデルを追加してシミュレーションを行う。
ハ行	プリ・ポスト・プロセッサ	数値解析計算で、ソルバ（数値解析の計算そのもの）を実行する前後に準備作業や結果の表示を行うソフト。ユーザはプリプロセッサで形状データ、境界条件を設定し、ソルバで計算した数値データをポストプロセッサで表示する。
	灰色体	実在物体の放射物性を単純近似する一方法として灰色近似があり，それを適用した物体を灰色体という。
マ行		

用語		内容
ヤ行	有限要素法	英語: Finite Element Method, 略称: FEM。解析的に解くことが難しい微分方程式の近似解を数値的に得る数値解析手法の 1 つ。方程式が定義された領域を小領域（要素）に分割し、各小領域における方程式を比較的単純で共通な補間関数で近似する。
ラ行	乱流	時間空間的に不規則な流れ。整然とした流れを層流 (Laminar flow), 不規則な流れを乱流 (Turbulent flow) と呼ぶ。
	離散化	離散化とは、ある連続した情報を、非連続の値に分割すること。離散化を行い非連続な数値に置き換えることで、近似的な計算結果を算出することが可能となる。

3D都市モデルを活用した気候変動影響シミュレーション 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：アルテアエンジニアリング株式会社

本報告書は、アルテアエンジニアリング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いません。