

3D-CAD対応型熱収支シミュレーション による環境設計支援ツール —環境負荷の少ない快適な街づくりに向けて—

東京工業大学 梅干野 晃

- I 生活空間としての都市環境の実態
- II ヒートアイランド現象の抑制対策
- III 都市緑化:屋上緑化とその効果
- IV 都市環境再生に向けて
 - 1. 熱環境評価指標
 - 2. 3D-CAD対応型全表面熱収支シミュレーションによる
屋外熱環境の設計支援ツール
 - 3. 熱環境設計の事例紹介



無断使用禁止

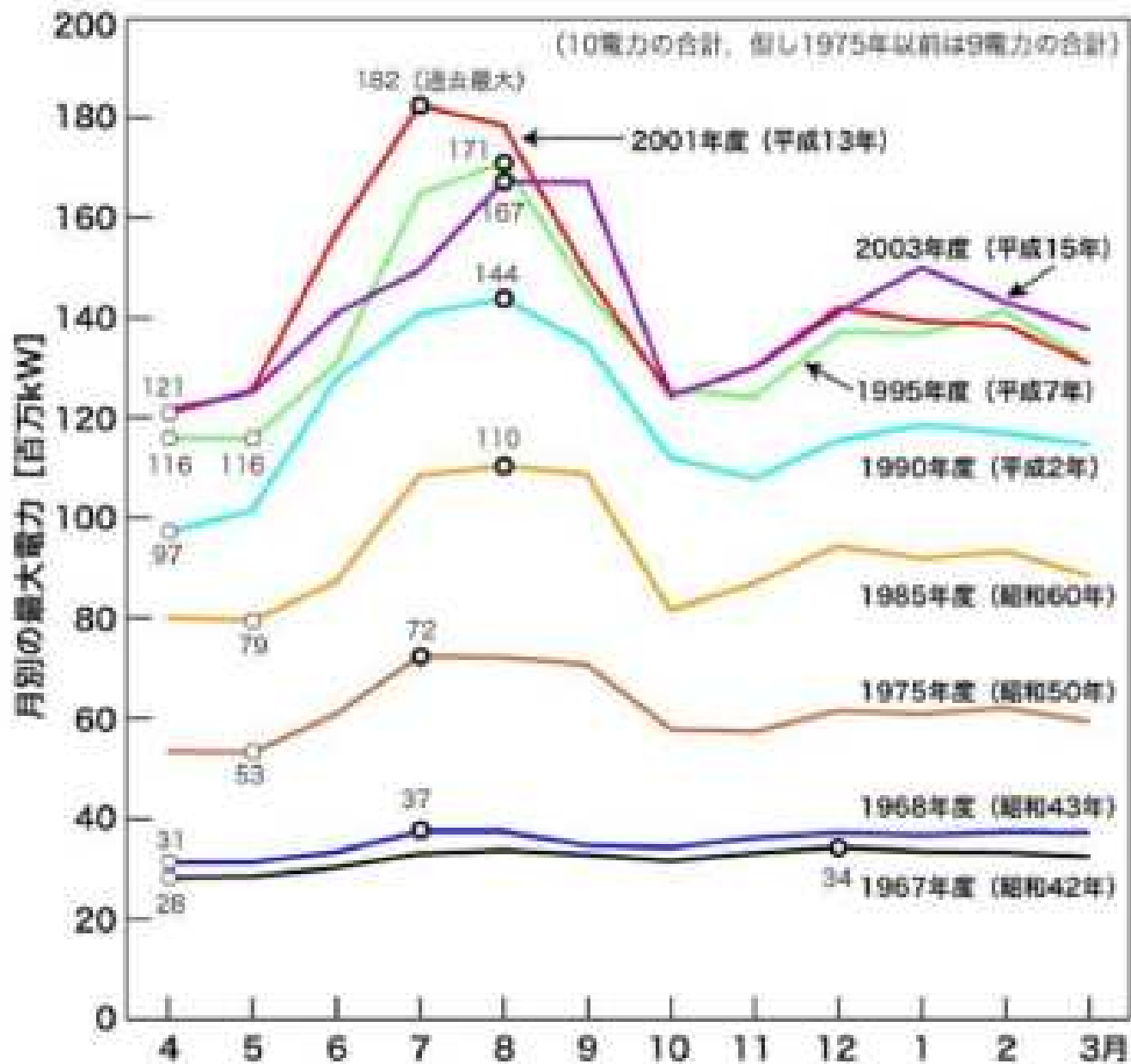


ORSP GLOBAL NIGHTTIME IMAGE (CONTINUED)

REMOTE SENSING TECHNOLOGY CENTER OF JAPAN
NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY



無断使用禁止



1年間の電気の使われ方の推移

(出典：電気事業連合会、原子力・エネルギー白書、2004-2005)

無断使用禁止

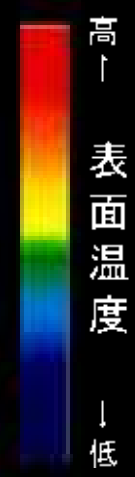
都市環境と都市設備



(柳干野, 1994)

夜の熱画像

プラットフォーム センサー
: Landsat TM
観測日 : 1993.4.17
表示バンド : b6
分解能 : 120m



無断使用禁止

日本におけるコンクリート生産量は、
1960年から2000年までで累積90億 m^3 であると推定されている。

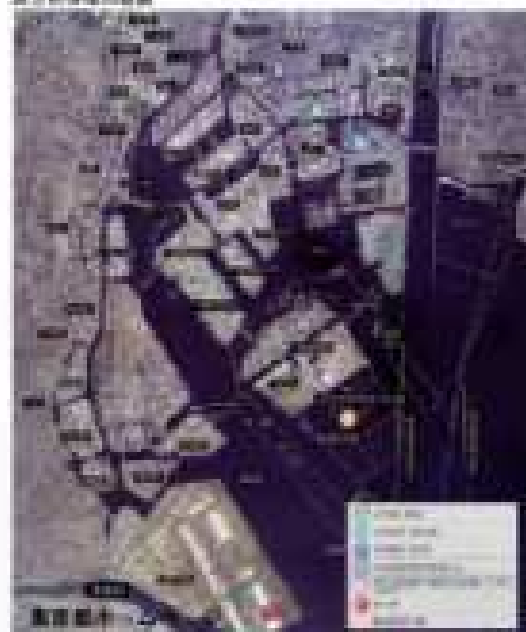


東京湾の水域面積：1000 km^2
平均水深：15m

上記のコンクリートをすべて東京湾に廃棄すると
 $90 \text{億} (m^3) / 15 (m) = 600,000,000 (m^2) = 600 (km^2)$

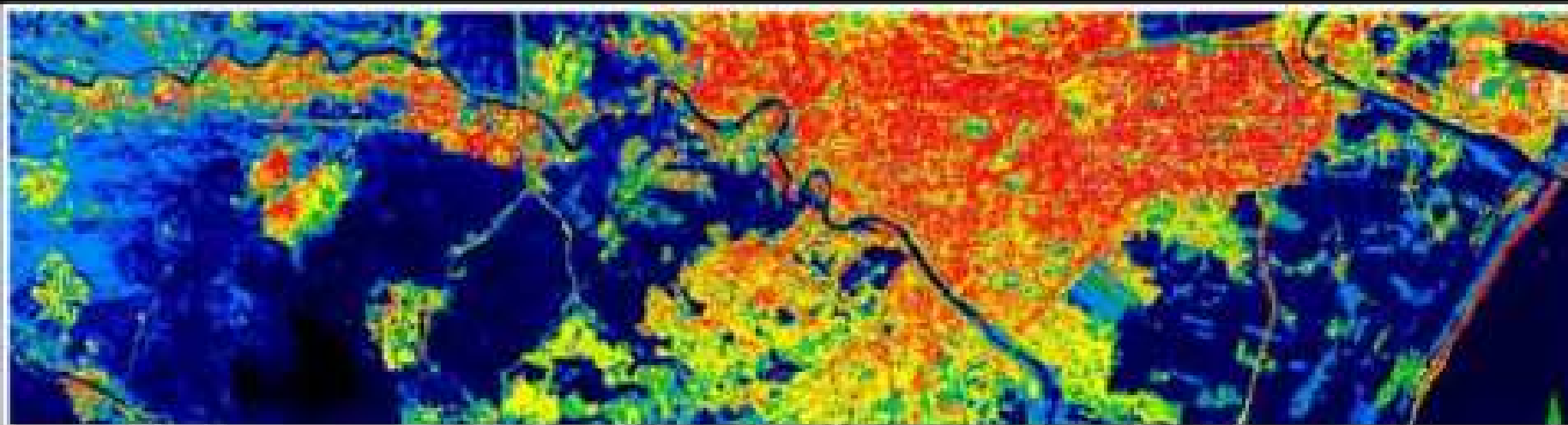
東京湾の60% (横浜～本更津) が埋め立てられる。

東京市のゴミの最終処分場

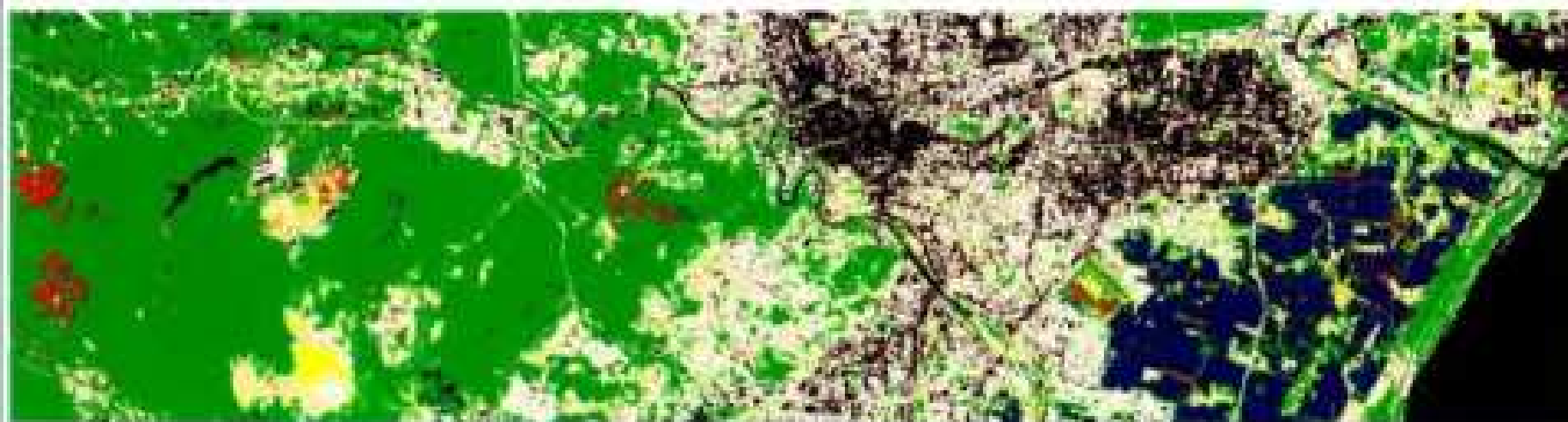


東京都のゴミの最終処分場である埋立地(A~G)は、予定地も含めて計1.6 km^2 。

(参考) 日本の森林の蓄積量は約22億 m^3 。



仙台市の夏季・晴天日の熱画像



仙台市の緑被分布図



無断使用禁止



彌生寺の森

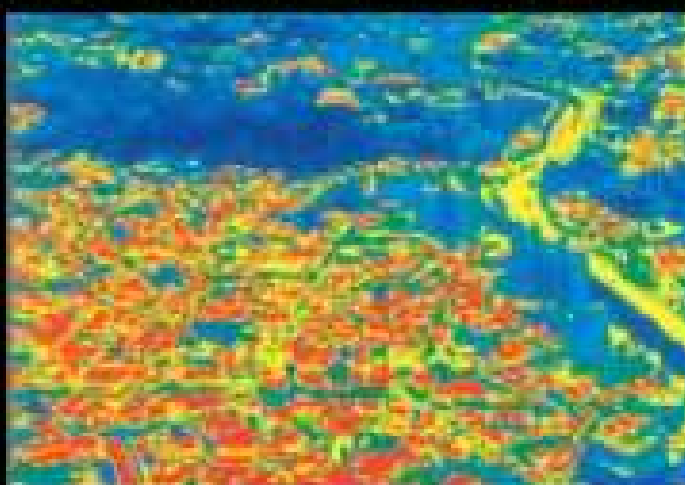
木造建物密集地域

RC造建物

首都高速道路

池袋サンシャイン60から収録

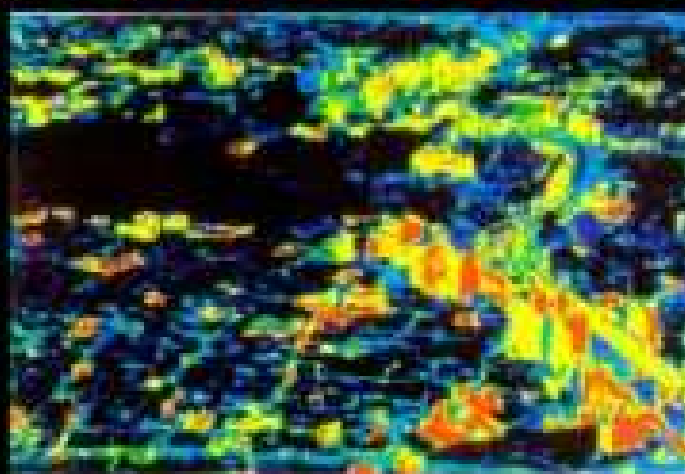
中央のミッドタウンのビル群は、
左の森（彌生寺の森）が建物の
密集した地域、右側の首都高
速道路で熱放射が少なくて森
の緑地が多い。



夏の昼の熱画像

1989年7月26日12:00

前面の木造建物の屋根から
放射熱となり、都市道路
の舗装面も高温となり、周辺
の森の温度は気温とほぼ等
しく、木造建物の屋根とが主
と高くなる。



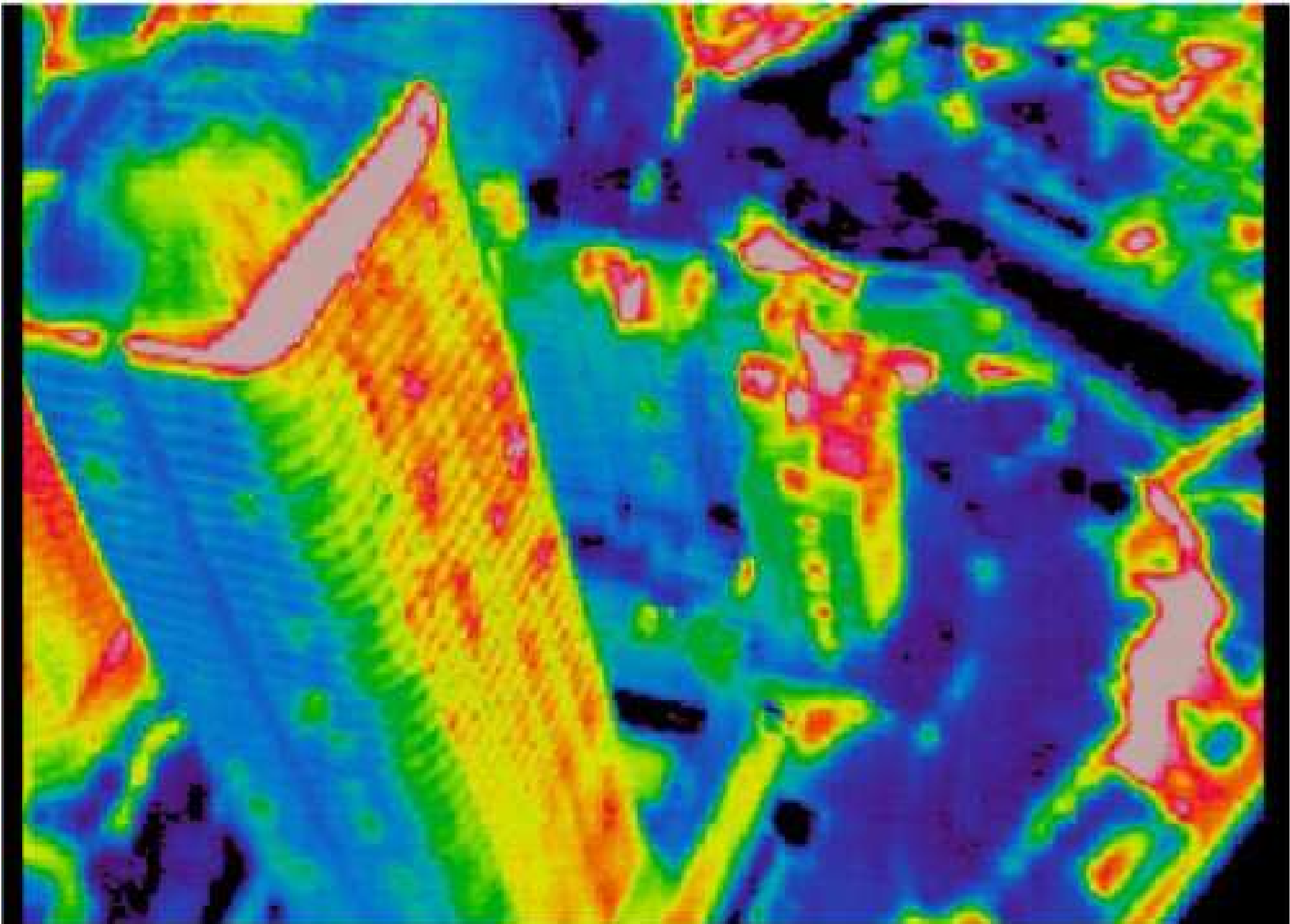
夏の夜の熱画像

1989年7月26日21:00

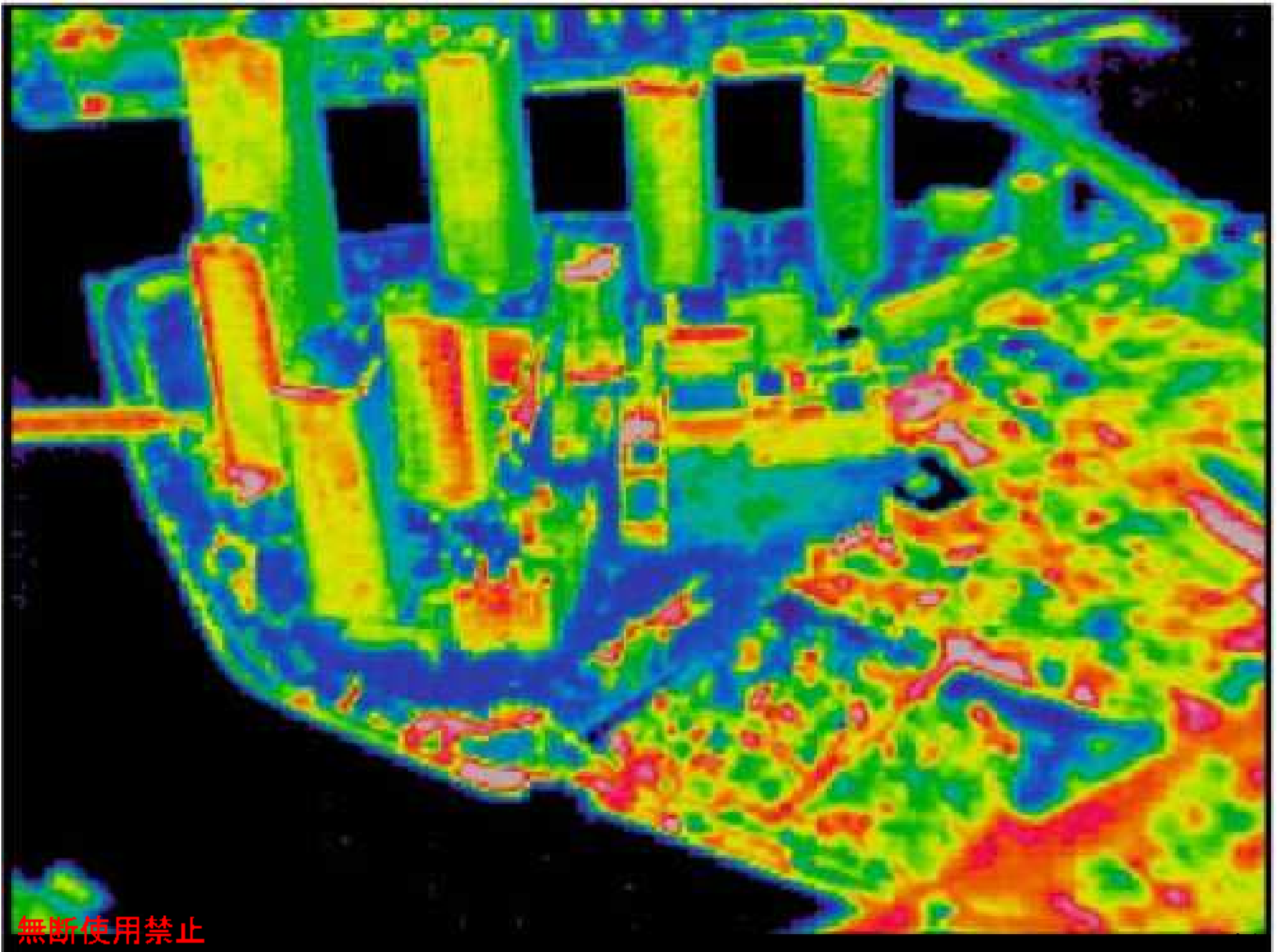
夜になると木造建物の屋根
は放射熱により、急激に表
面温度が下がる。周辺森の温
度は昼とほぼ同じ、気温とほ
ぼ等しい。熱放射が少なくて
木造建物の前面は日中暖かき
日射熱が蓄積され、夜間使用
の舗装面も高温になり、都市
夜の条件が異なる。

無断使用禁止

夏季・晴天における市街地の熱画像



無断使用禁止



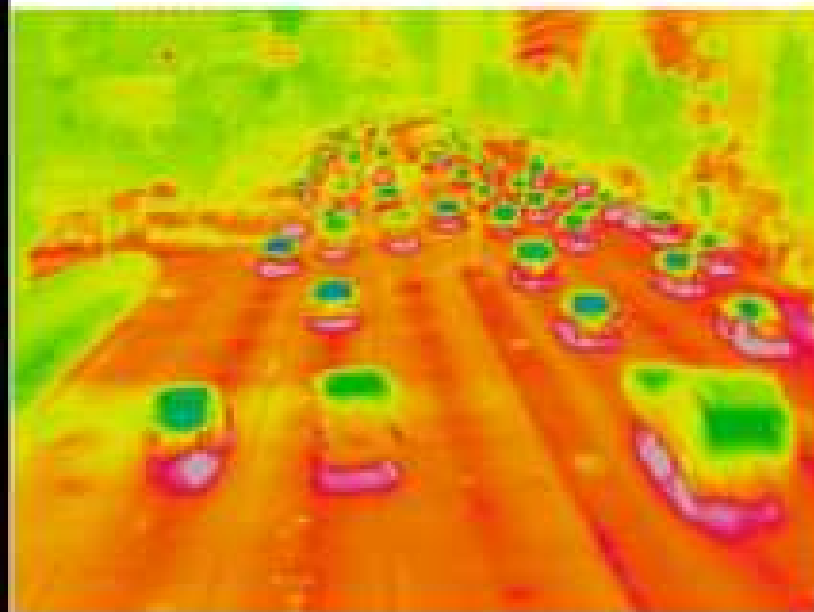
無断使用禁止

RG: 1 1.00 SC: NORM

05/08/19

18:20:12

(100.0)

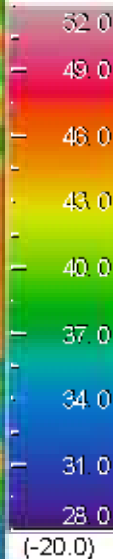
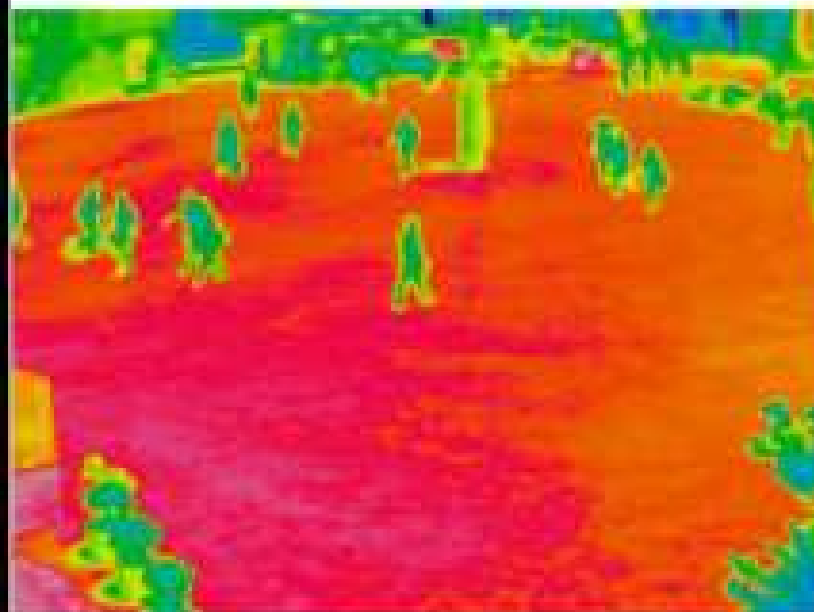


RG: 1 1.00 SC: NORM

05/08/19

11:57:12

(100.0)



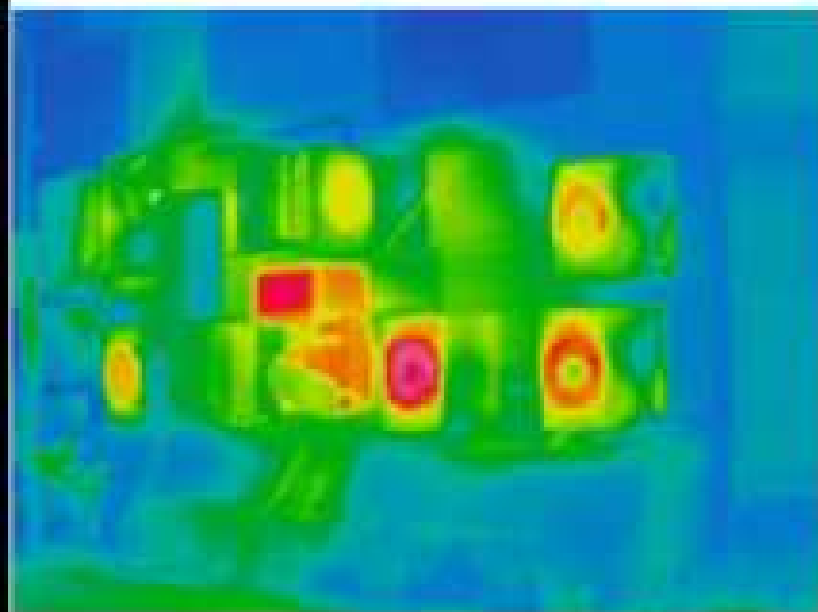
無断使用禁止

RG: 1 1.00 SC: NORM

05/08/17

13:05:40

(100.0)

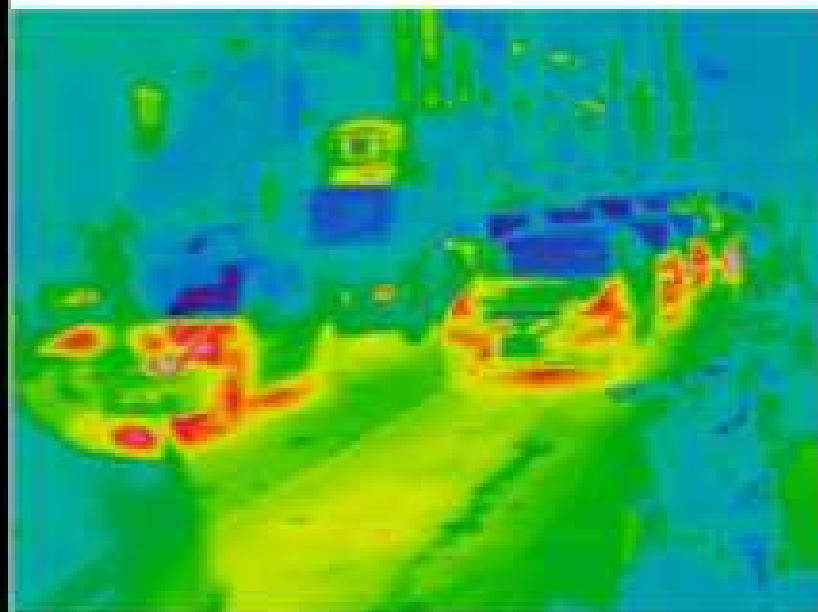


RG: 1 1.00 SC: NORM

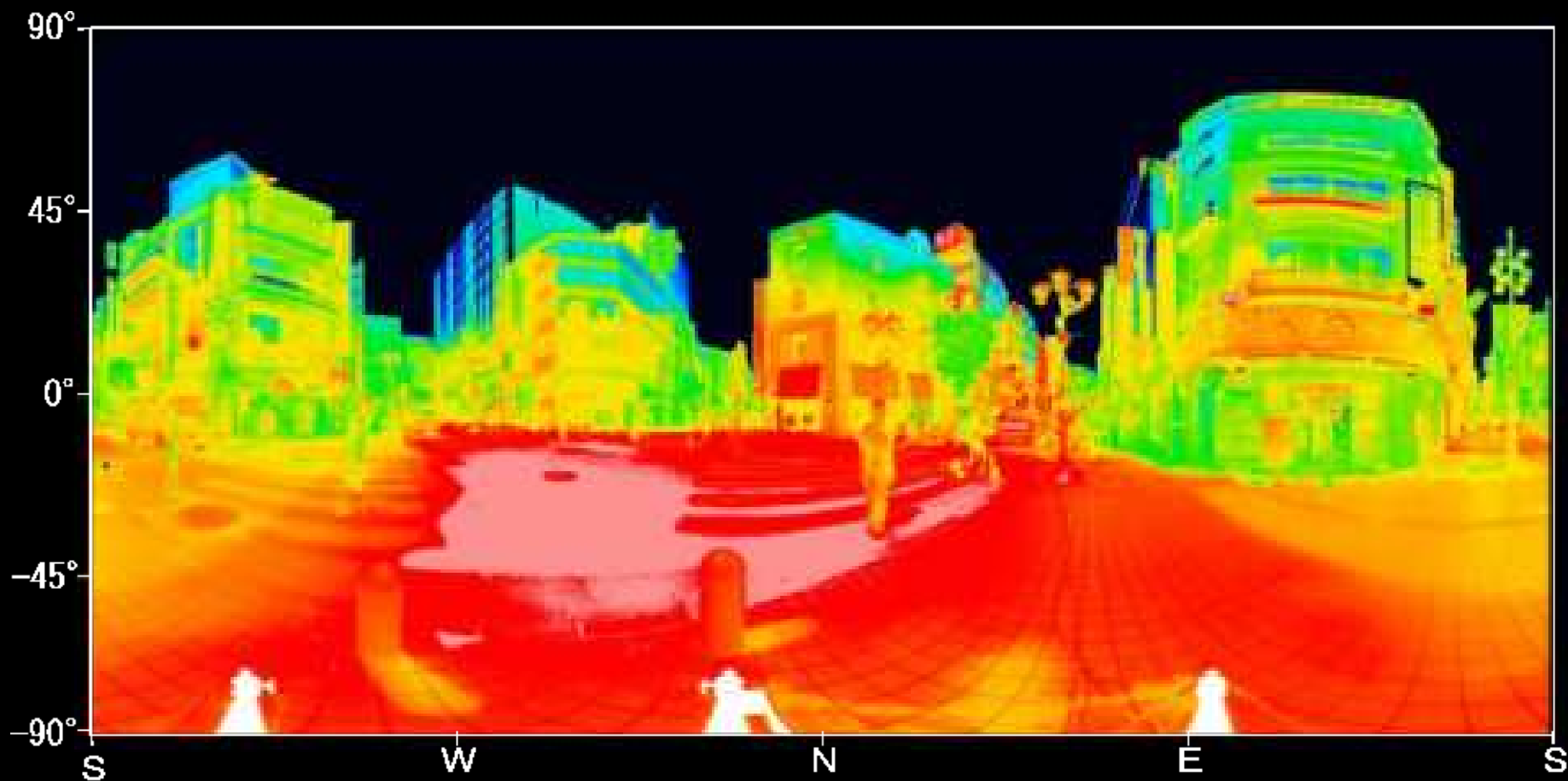
05/08/17

18:56:34

(100.0)



無断使用禁止



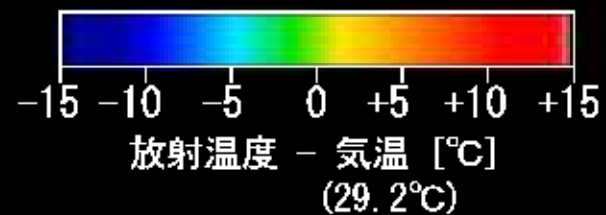
新宿・街路の歩道上の全球熱画像

2002年6月6日 13:57

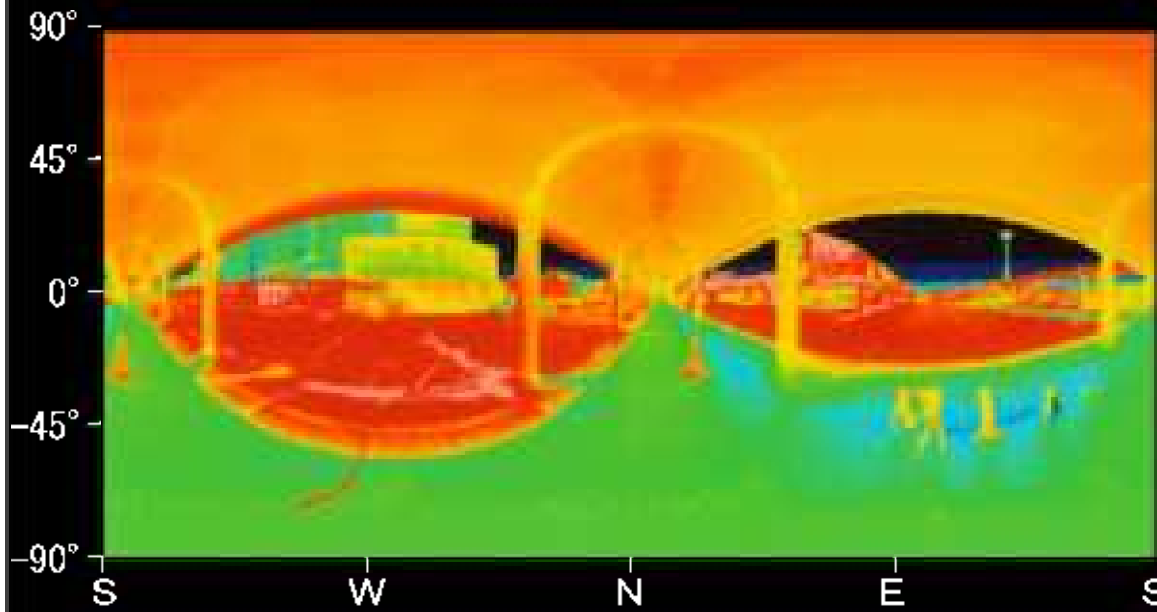
(東京都新宿区：新宿駅東口)

外気温：29.2°C 湿度：36% 風速：1.0m/s

全天日射量：770W/m²

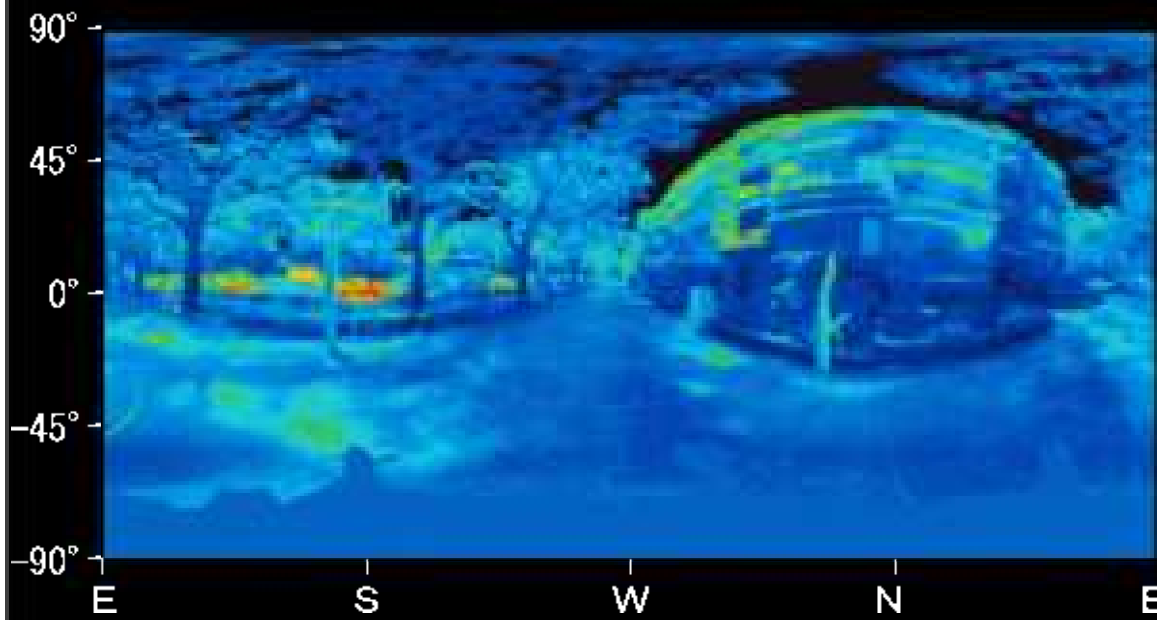
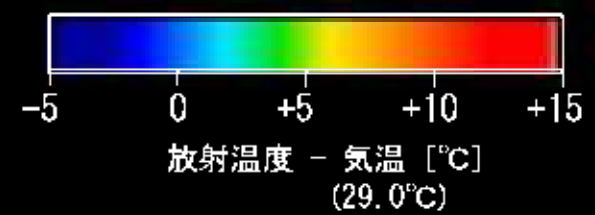


無断使用禁止



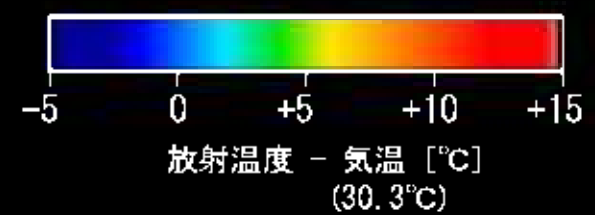
人工の天蓋で覆われた通路

1997年9月10日 12:18
 (東京都八王子市:南大沢駅前)
 気温: 29.0°C 湿度: 50% 風速: 1.8m/s
 全天日射量: 97W/m² 平均放射温度: 36.6°C

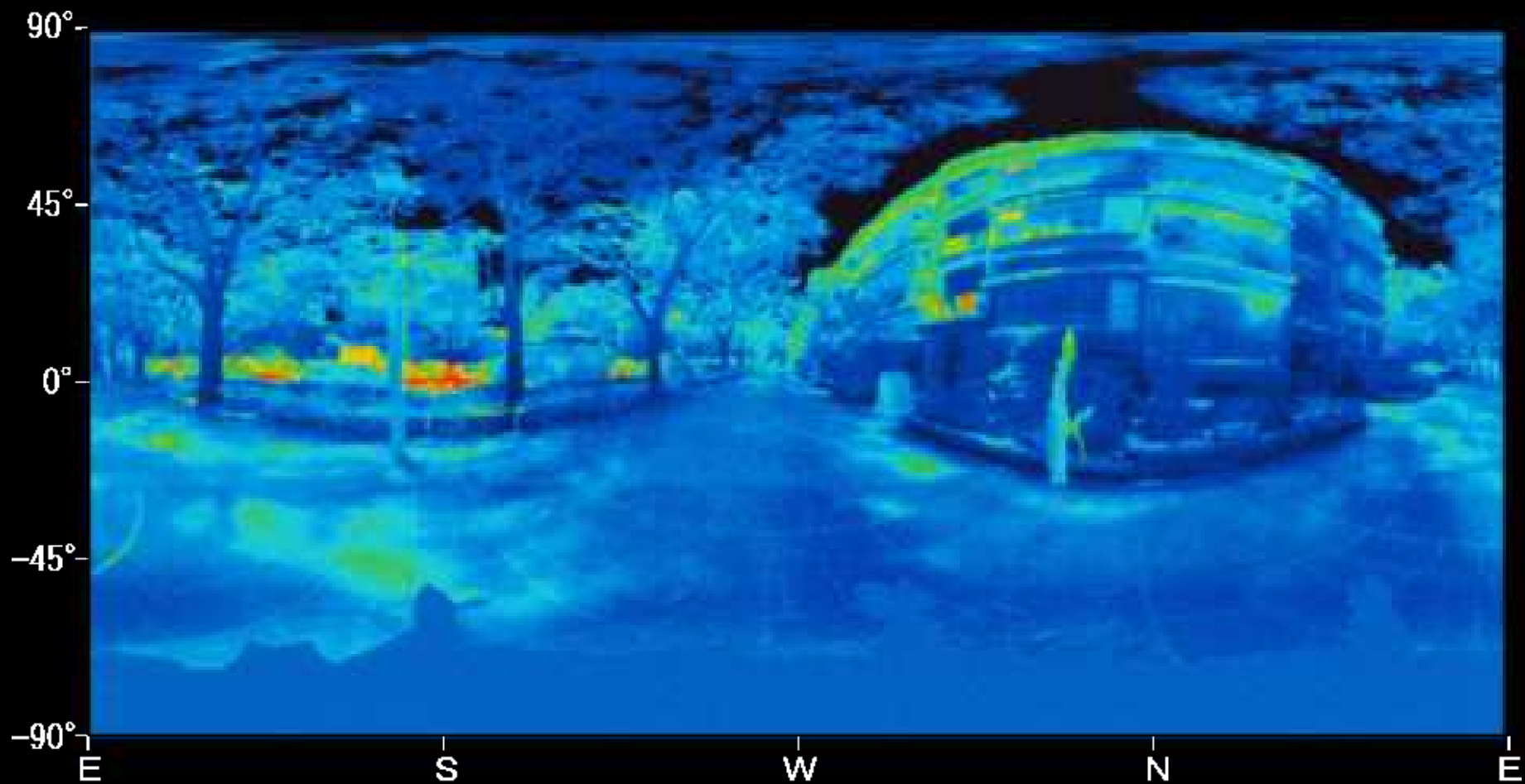


大きな樹冠の街路樹に覆われた街路

1997年7月24日 11:55
 (東京都渋谷区:表参道)
 気温: 30.3°C 湿度: 51% 風速: 0.6m/s
 全天日射量: 31W/m² 平均放射温度: 30.2°C



無断使用禁止



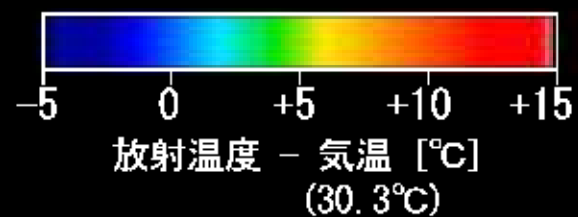
大きな樹冠の街路樹に覆われた街路

1997年7月24日 11:55

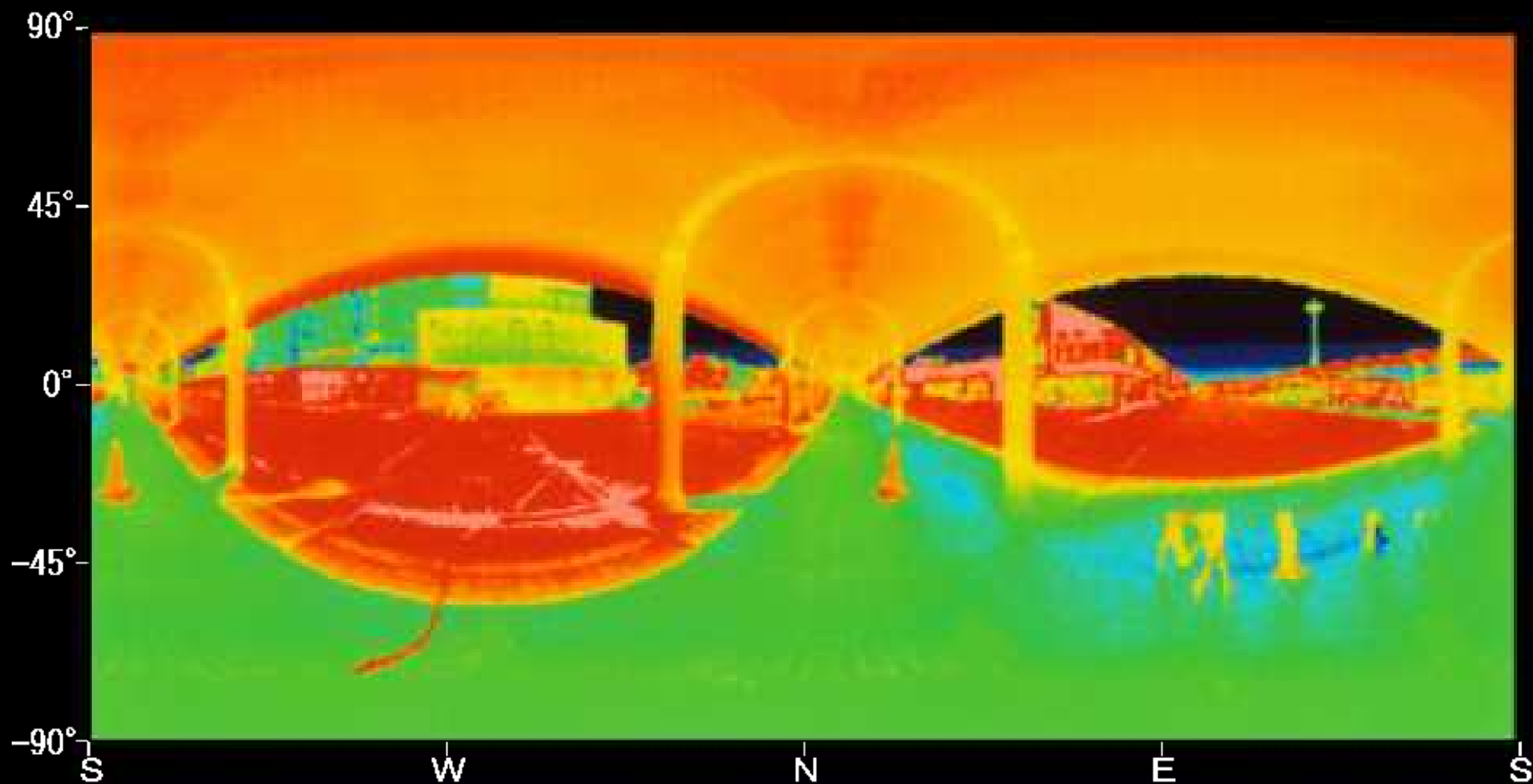
(東京都渋谷区：表参道)

気温：30.3°C 湿度：51% 風速：0.6m/s

全天日射量：31W/m² 平均放射温度：30.2°C



無断使用禁止



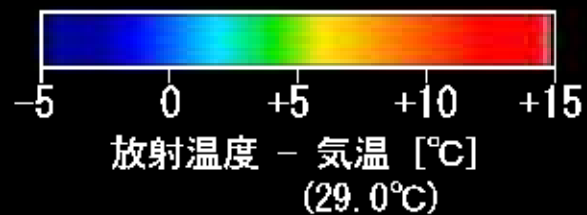
人工の天蓋で覆われた通路

1997年9月10日 12:18

(東京都八王子市：南大沢駅前)

気温：29.0°C 湿度：50% 風速：1.8m/s

全天日射量：97W/m² 平均放射温度：36.6°C



無断使用禁止

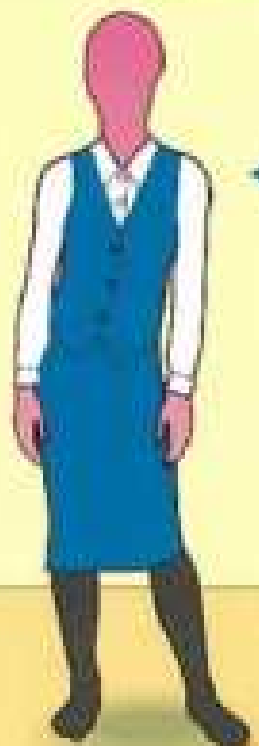
人間側の要素

環境側の要素

人間と環境の間で行われる熱交換

産熱量

着衣量



日射

表面温度
(床や壁, 天井)

気流

気温

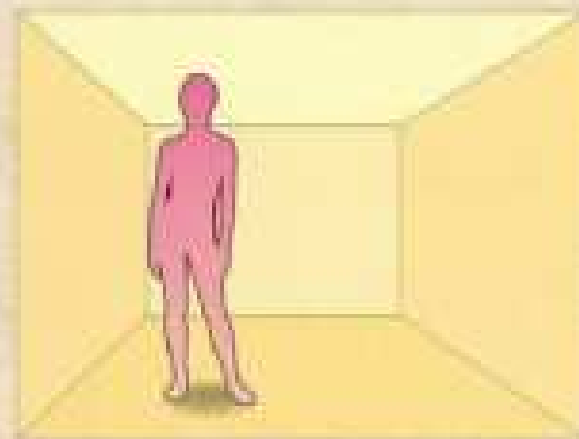
湿度

$$\text{MRT} = \sum \varphi_i \cdot \theta_{si}$$

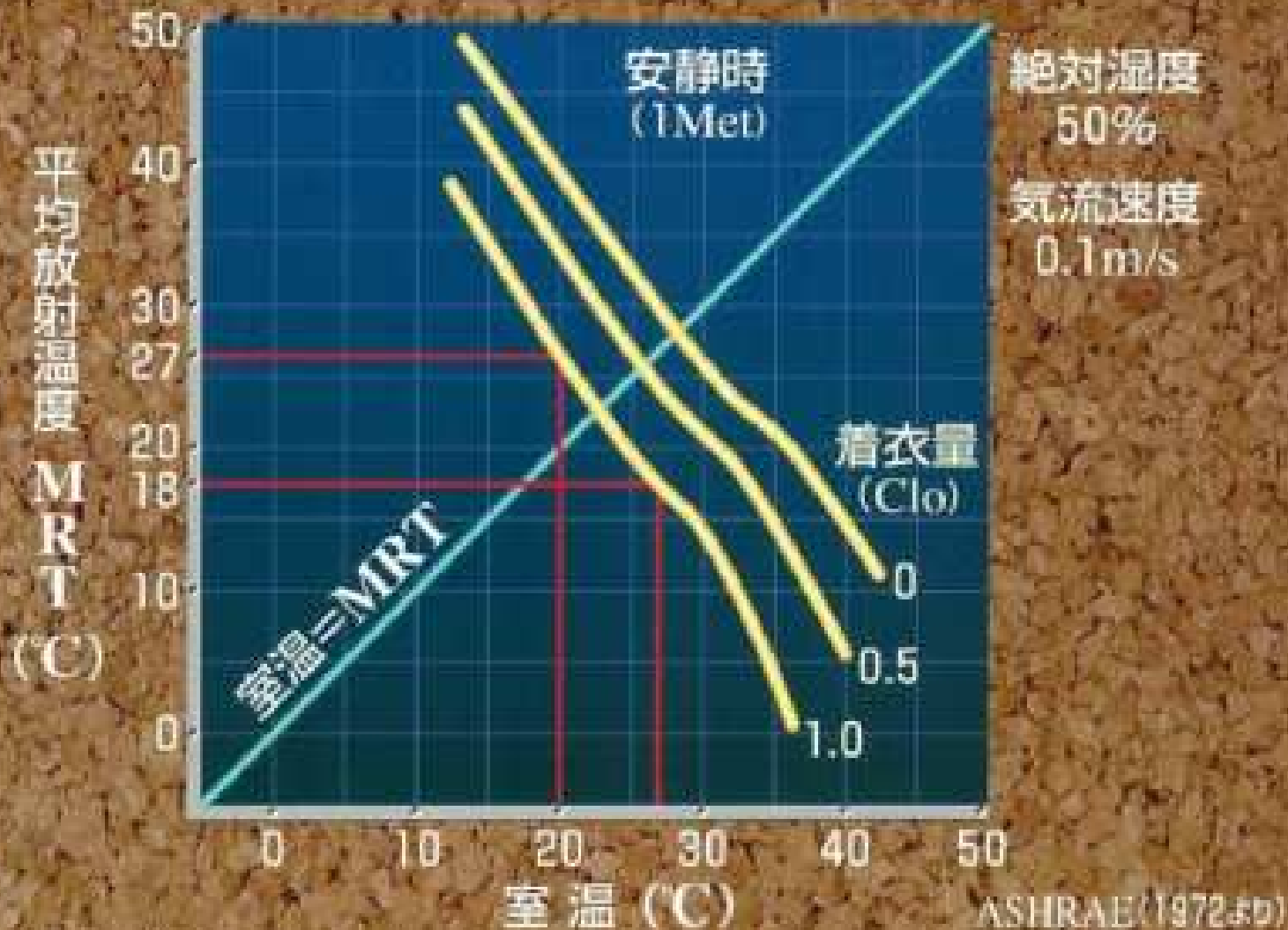
MRT : 平均放射温度 (°C)

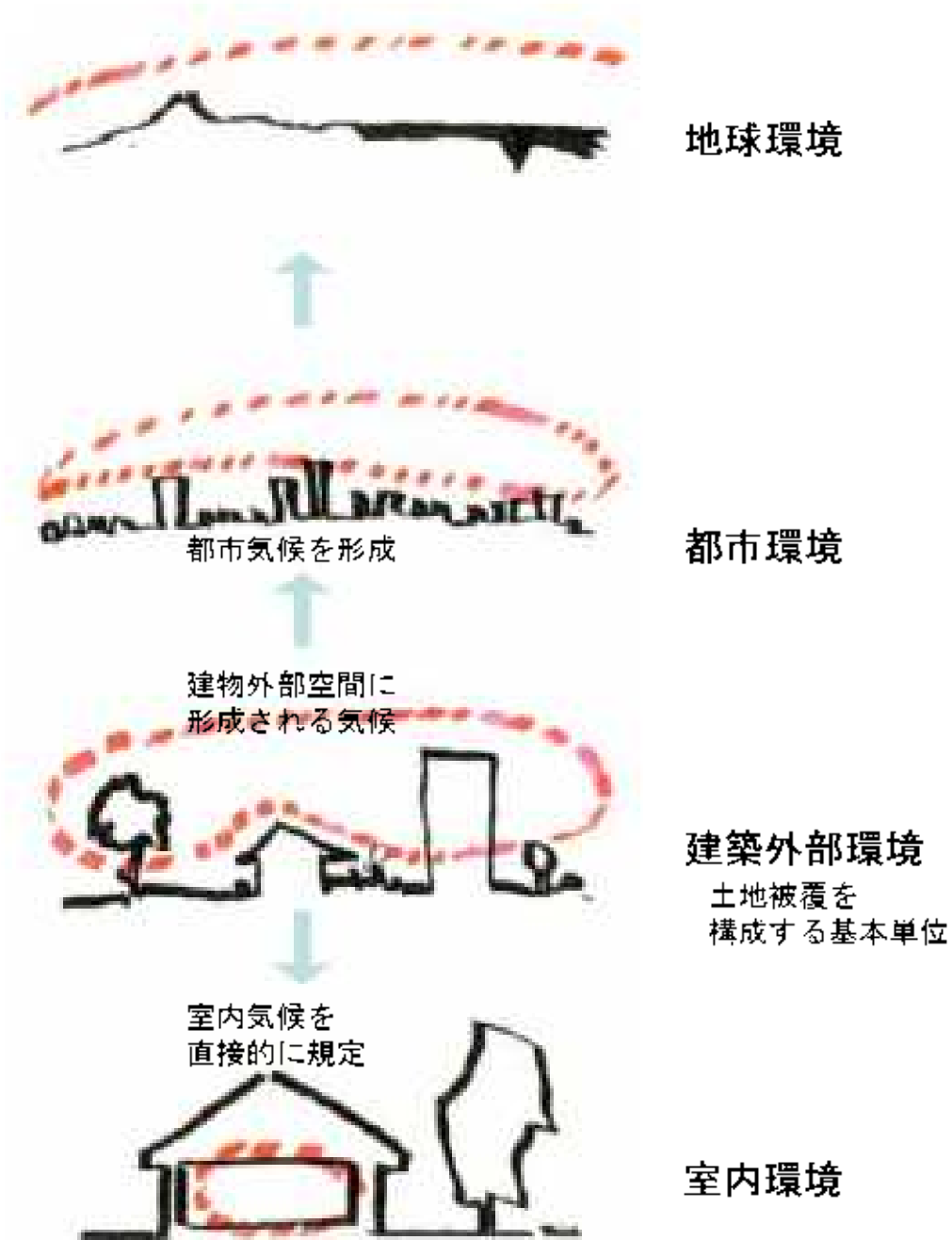
φ_i : 人体からの各面の形態係数

θ_{si} : 各面の表面温度 (°C)



放射熱の影響





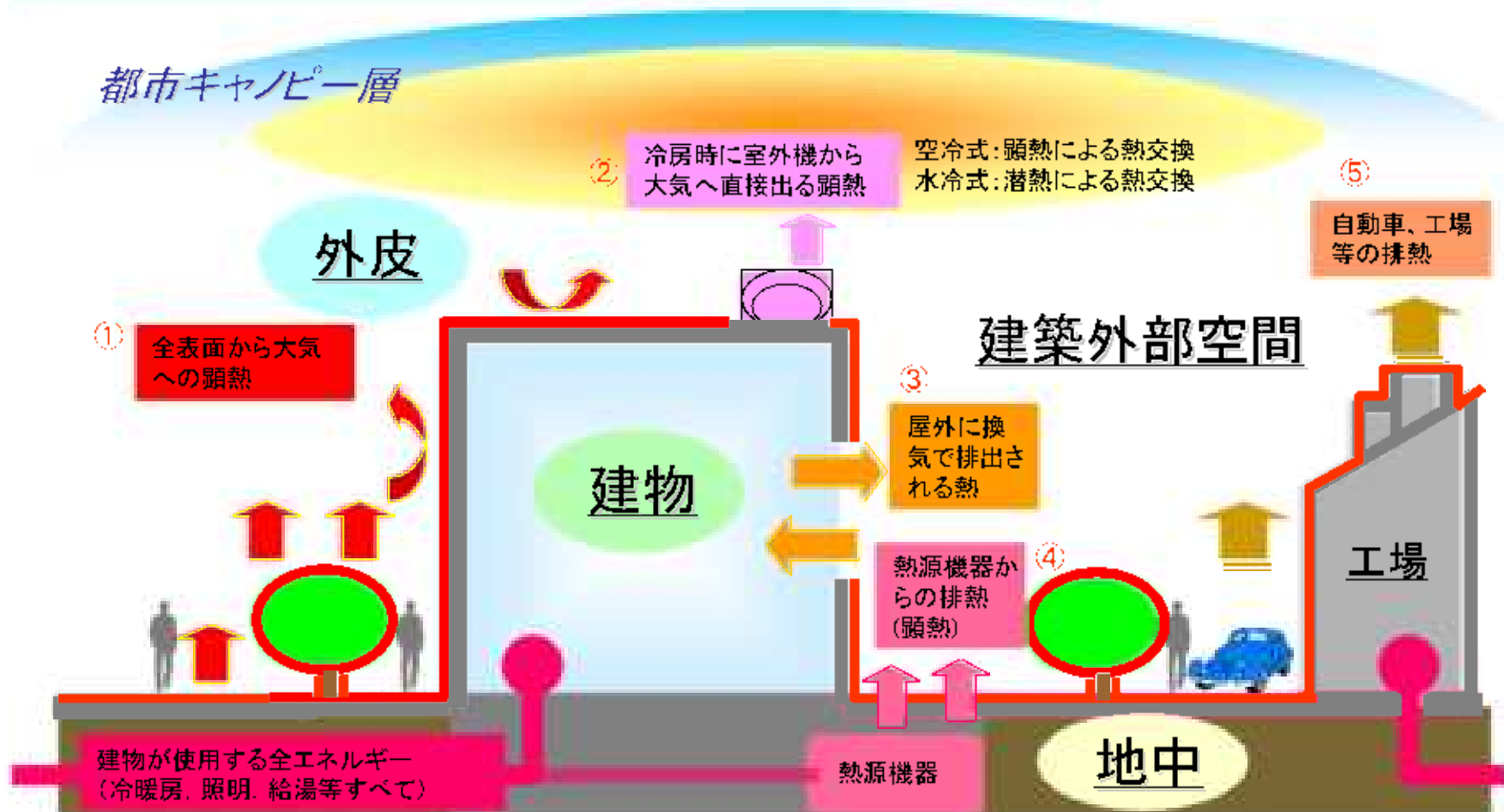
無断使用禁止

ヒートアイランド現象の形成要因

- 土地被覆の改変
- 膨大なエネルギーの消費
- 大気汚染

ヒートアイランド現象の形成要因 大気を直接暖める要因(大気顕熱負荷)

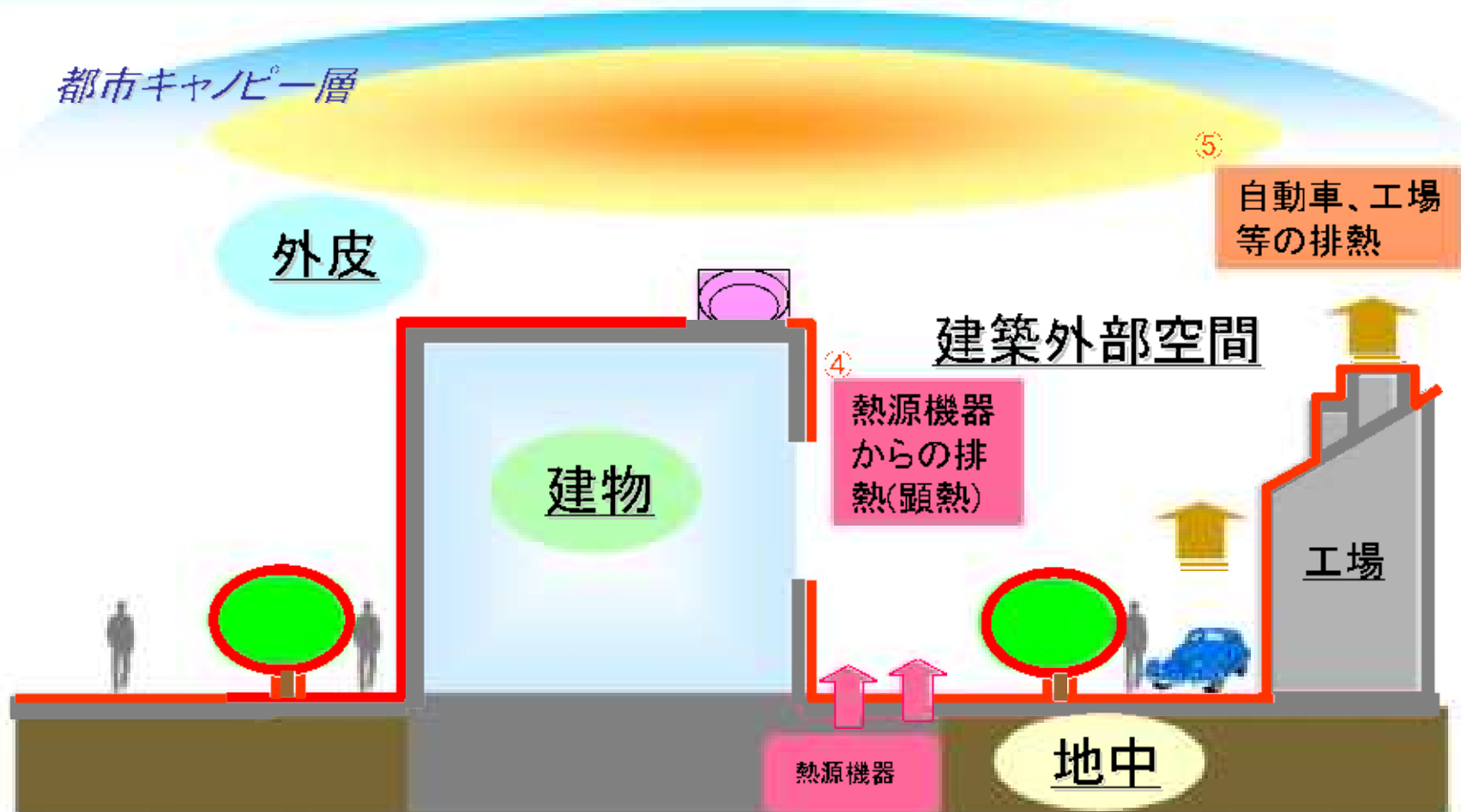
- 大気顕熱負荷 = ①全表面からの顕熱
+ ②冷房時に室外機から大気へ直接出る顕熱
+ ③屋内から換気で放出される顕熱
+ ④熱源機器からの排熱 + ⑤自動車等の排熱



無断使用禁止

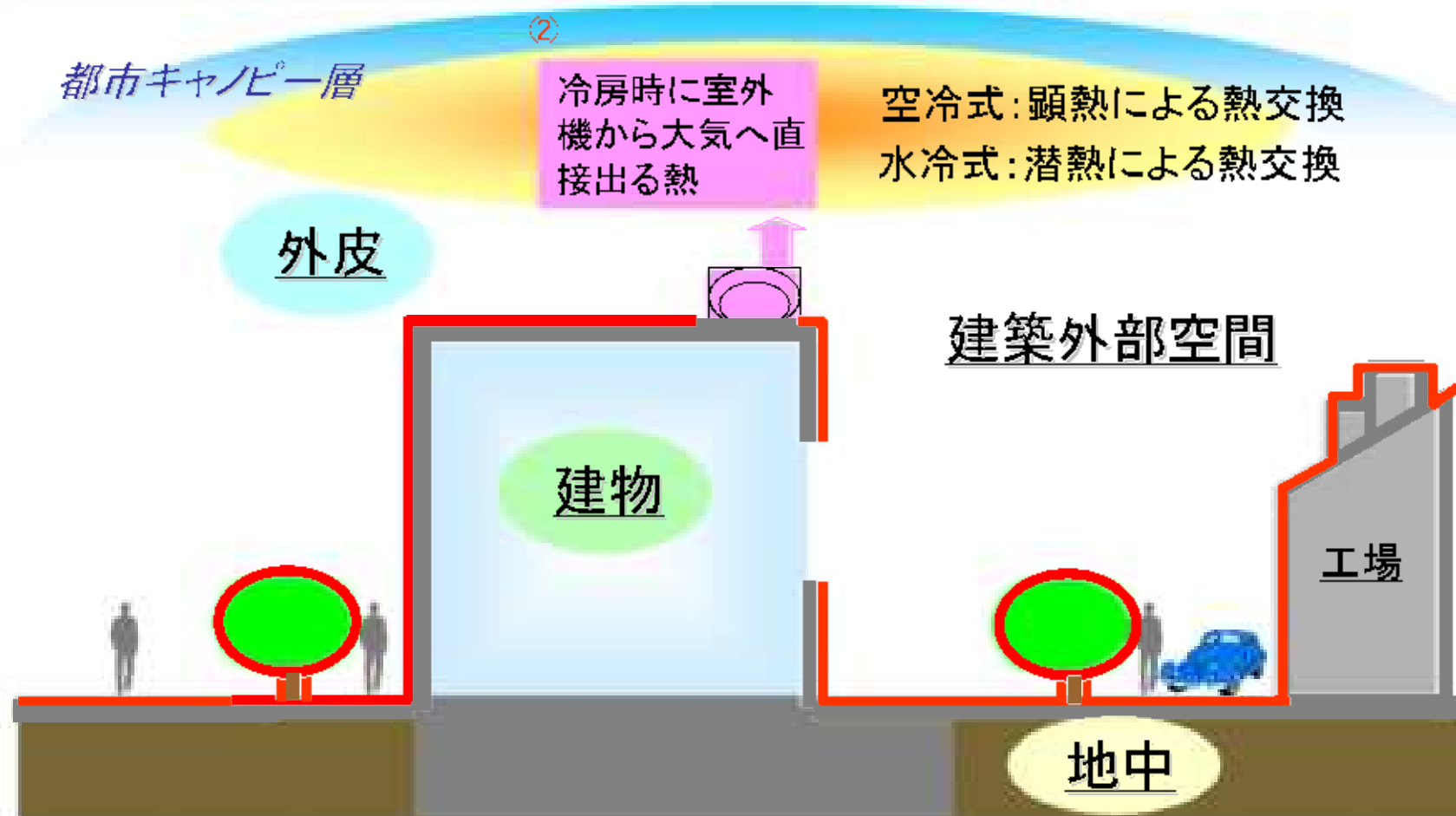
ヒートアイランド現象の形成要因 大気を直接暖める要因(大気顕熱負荷)

- 大気顕熱負荷 = ①全表面からの顕熱
+ ②冷房時に室外機から大気へ直接出る顕熱
+ ③屋内から換気で放出される顕熱
+ ④熱源機器からの排熱 + ⑤自動車等の排熱



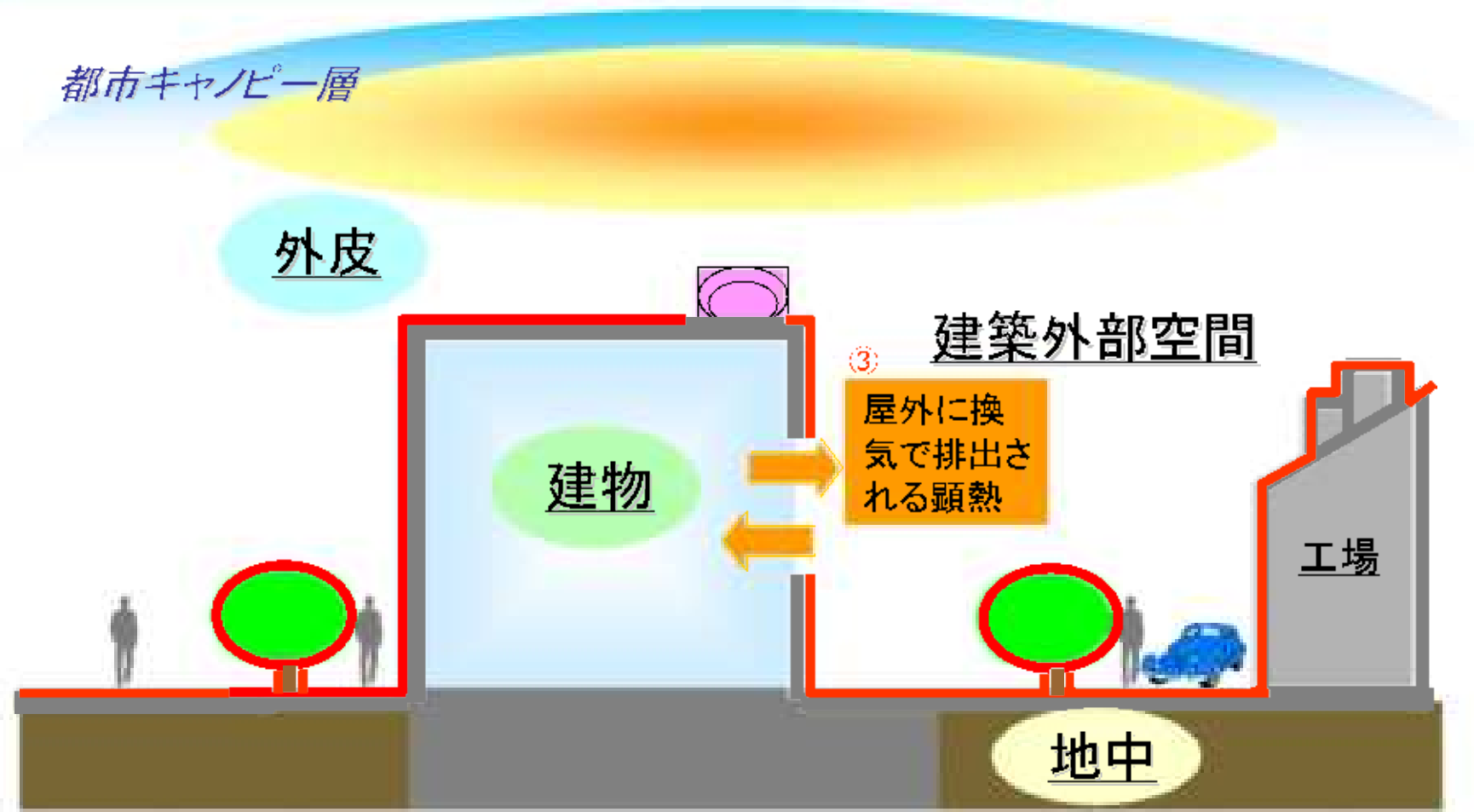
ヒートアイランド現象の形成要因 大気を直接暖める要因(大気顕熱負荷)

- 大気顕熱負荷 = ①全表面からの顕熱
+ ②冷房時に室外機から大気へ直接出る顕熱
+ ③屋内から換気で放出される顕熱
+ ④熱源機器からの排熱 + ⑤自動車等の排熱



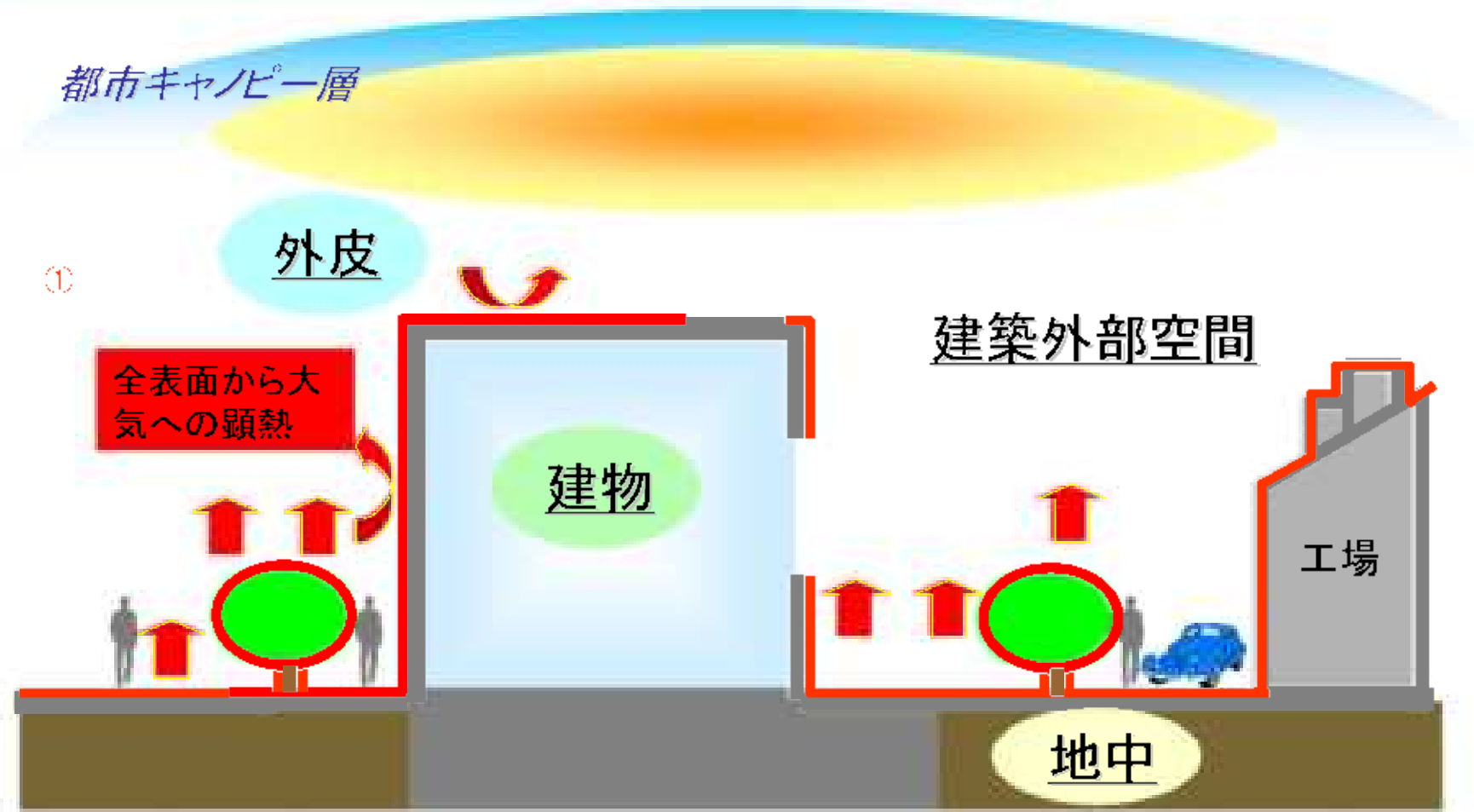
ヒートアイランド現象の形成要因 大気を直接暖める要因(大気顕熱負荷)

大気顕熱負荷 = ①全表面からの顕熱
+ ②冷房時に室外機から大気へ直接出る顕熱
+ ③屋内から換気で放出される顕熱
+ ④熱源機器からの排熱 + ⑤自動車等の排熱



ヒートアイランド現象の形成要因 大気を直接暖める要因(大気顕熱負荷)

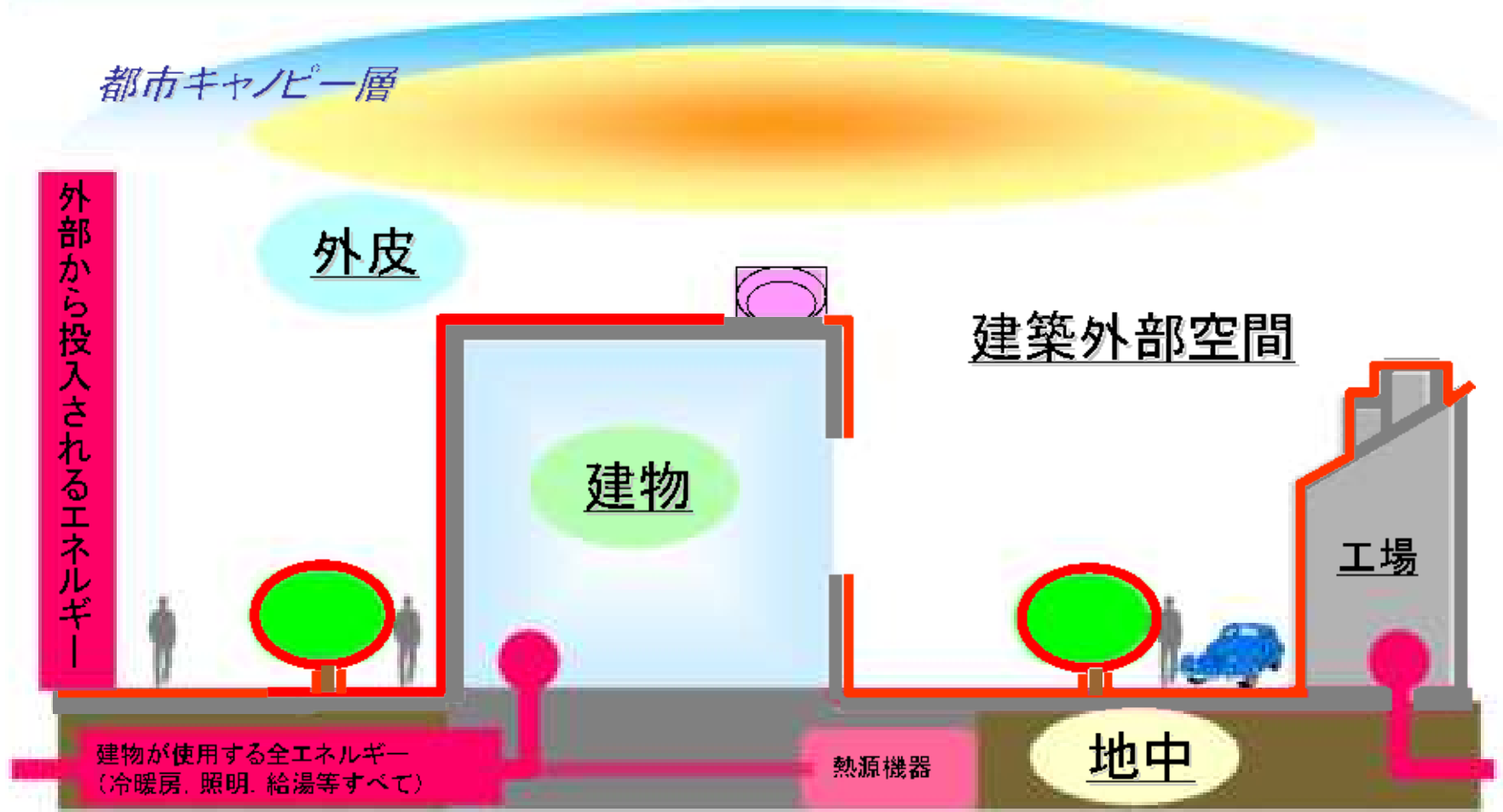
大気顕熱負荷 = ①全表面からの顕熱
+ ②冷房時に室外機から大気へ直接出る顕熱
+ ③屋内から換気で放出される顕熱
+ ④熱源機器からの排熱 + ⑤自動車等の排熱



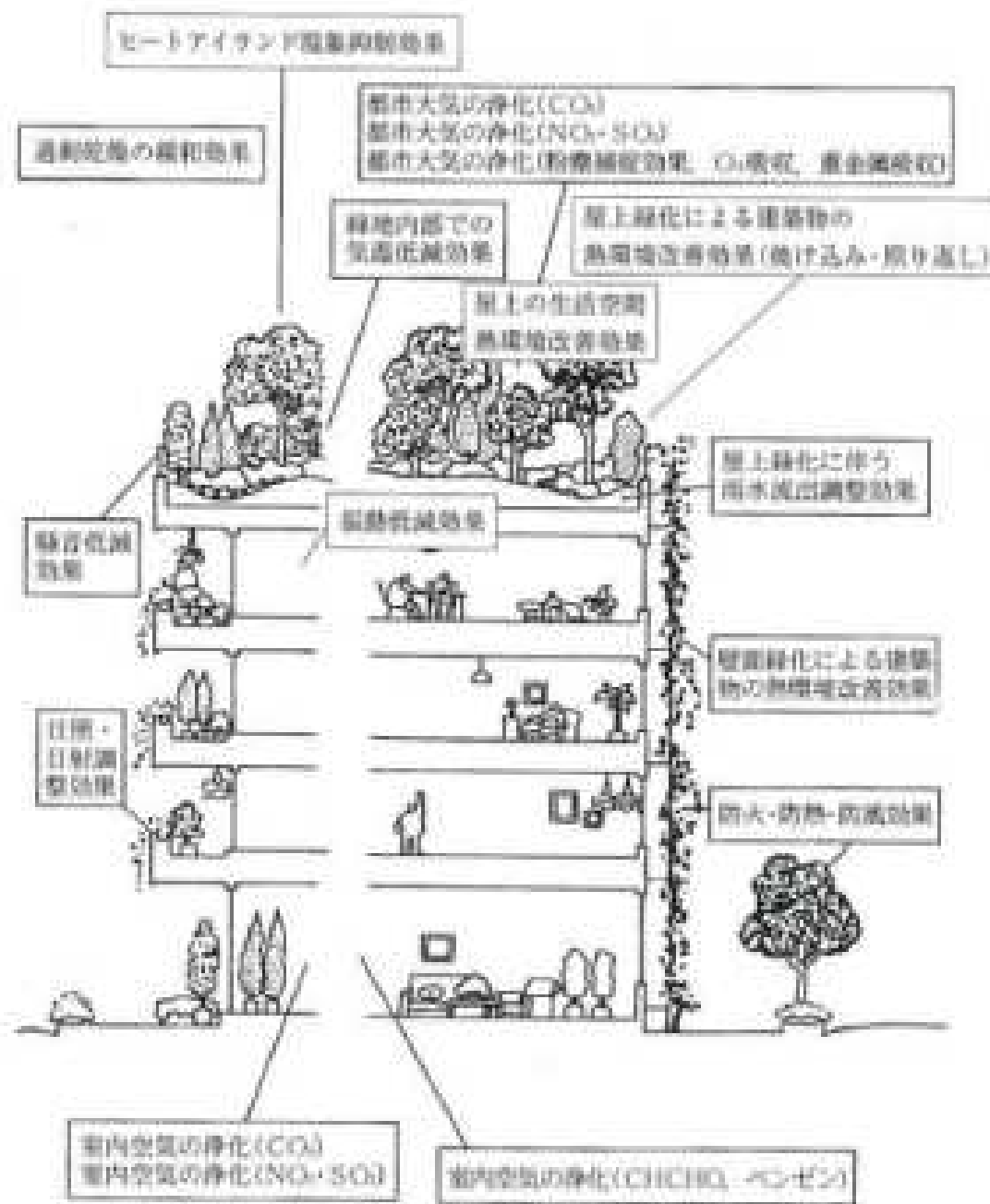
無断使用禁止

ヒートアイランド現象の形成要因 大気を直接暖める要因(大気顕熱負荷)

大気顕熱負荷 = ①全表面からの顕熱
+ ②冷房時に室外機から大気へ直接出る顕熱
+ ③屋内から換気で放出される顕熱
+ ④熱源機器からの排熱 + ⑤自動車等の排熱



無断使用禁止



立体緑化手法と緑の環境調整効果



無断使用禁止



無断使用禁止



無断使用禁止



無断使用禁止

屋上緑化の環境調整効果

I 室内環境

1) 焼けこみ防止効果

2) 断熱効果

3) 遮音効果

4) 防振効果

II 屋外環境

1) 照り返し防止効果

2) クールスポット形成効果

3) 吸音効果

4) アメニティの向上

III 都市環境

1) ヒートアイランド現象緩和効果

2) 都市型洪水の抑制

3) 過乾燥化の抑制

4) 温暖化ガス(CO₂)吸収効果

5) 都市景観



無断使用禁止

今、何故屋上緑化なのか

屋上緑化

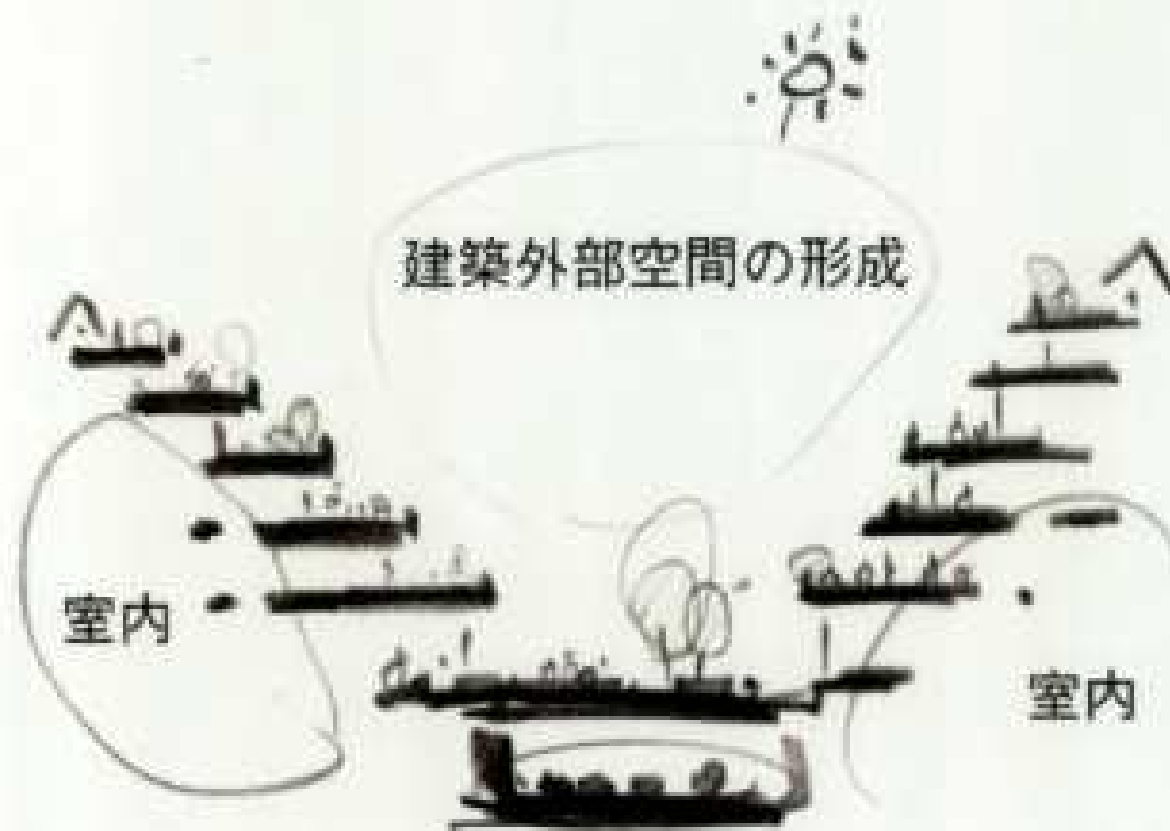


屋根緑化



➡ 都市における生活空間として建物の屋上を捉える

都市における生活空間として建物の屋上を捉える①



都市における生活空間として建物の屋上を捉える②

屋上からのアプローチ





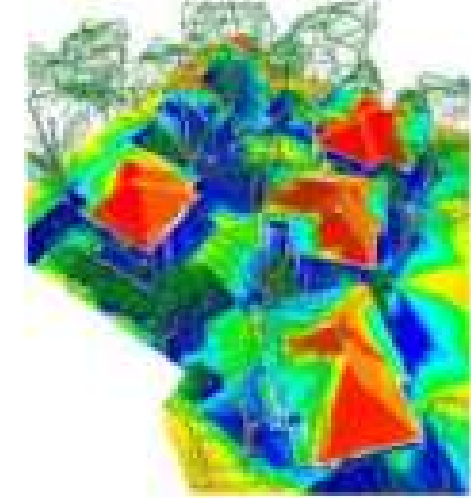
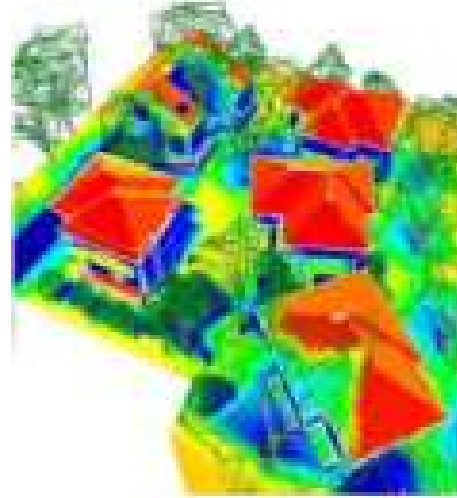
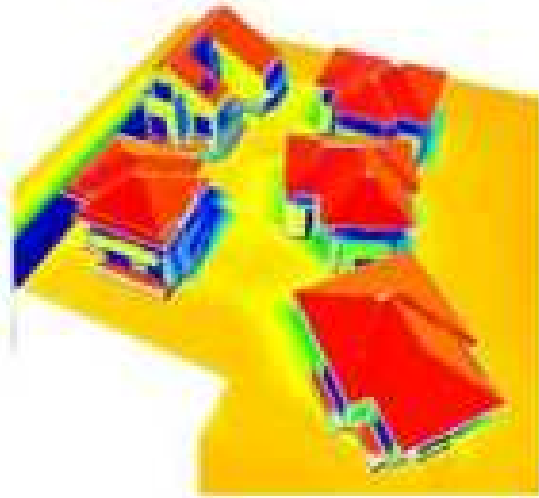
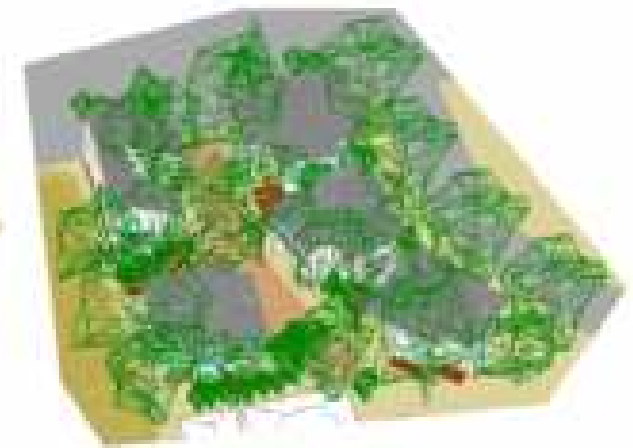
環境負荷の小さい快適な街づくり！

建物や地面をやさしく緑で包む

- ・大きな樹冠をもつ樹木による並木
- ・ツル植物による緑化スクリーン、パーゴラ
- ・屋上緑化、壁面緑化、ベランダ植栽

IV 都市環境再生に向けて

1. 熱環境設計の目標
2. 熱環境評価指標
 - ・ヒートアイランドポテンシャル 周辺大気への顕熱負荷の抑制
 - ・生活空間の平均放射温度(MRT) 快適な生活空間の形成
3. 3D-CAD対応型全表面熱収支シミュレーションによる屋外熱環境の設計支援ツール
4. 熱環境設計の事例紹介
 - 緑豊かな住宅地: 高木の効果
 - 街づくり: ストリートキャニオンを見直す



CASE1 : 樹木の
ない状態

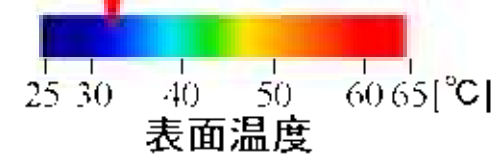
CASE2 : 住宅地
の現状

CASE3 : 高木をさらに
増やした場合

東京 夏季晴天日

12:00

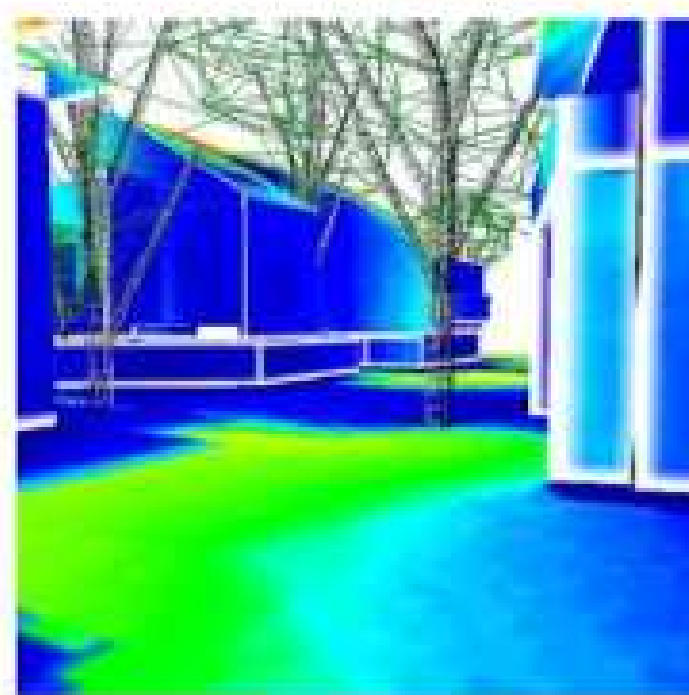
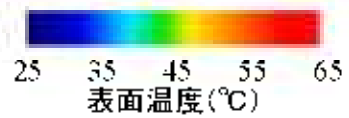
気温: 32.3°C



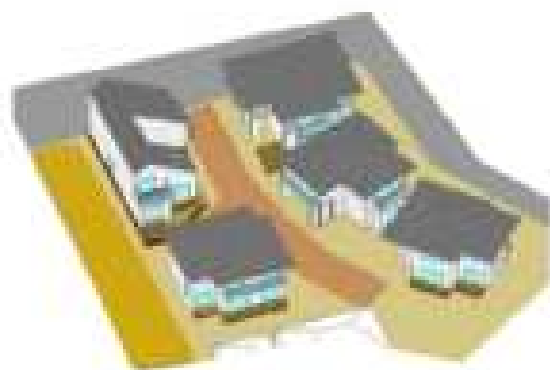
樹木が全く
ない場合



樹高の高い
樹木を植えた
場合



無断使用禁止



CASE1 樹木の全くない場合

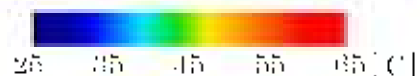
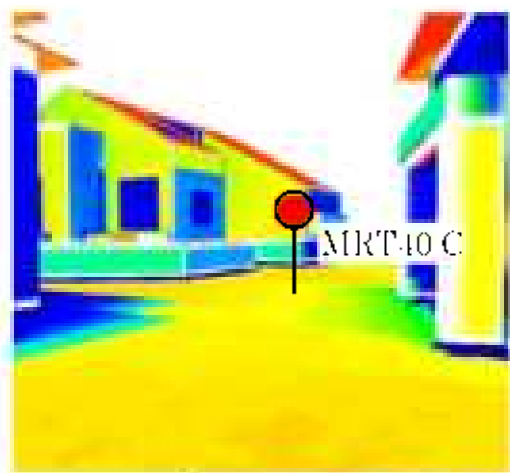


CASE2 高木を植栽した場合

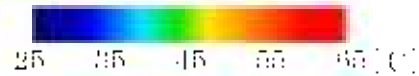
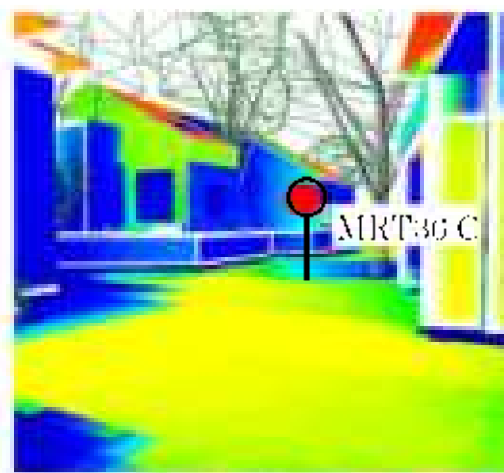


CASE3 屋根より高い大きな樹冠をもった樹木を多く配置した場合

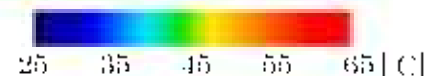
数値シミュレーションの入力データとなる住宅地CAD



CASE1 樹木の全くない場合



CASE2 高木を植栽した場合



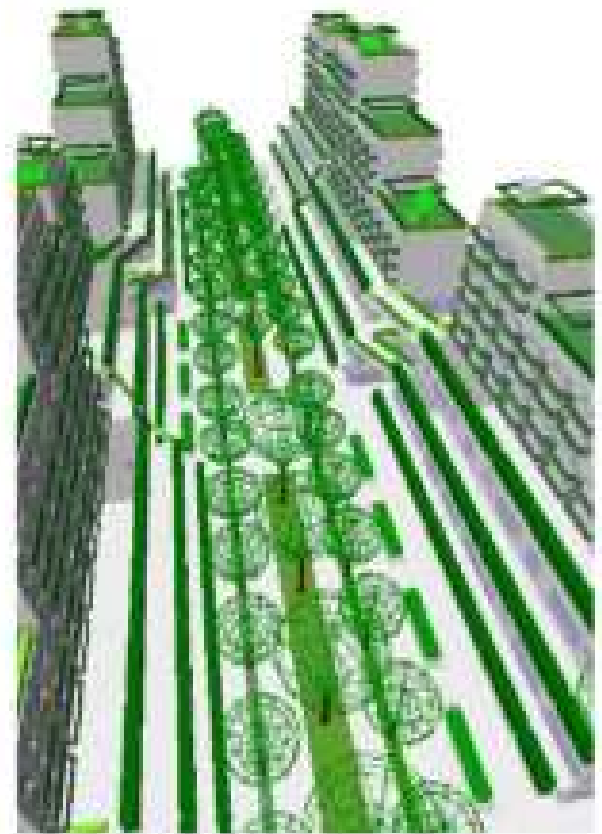
CASE3 屋根より高い大きな樹冠をもった樹木を多く配置した場合



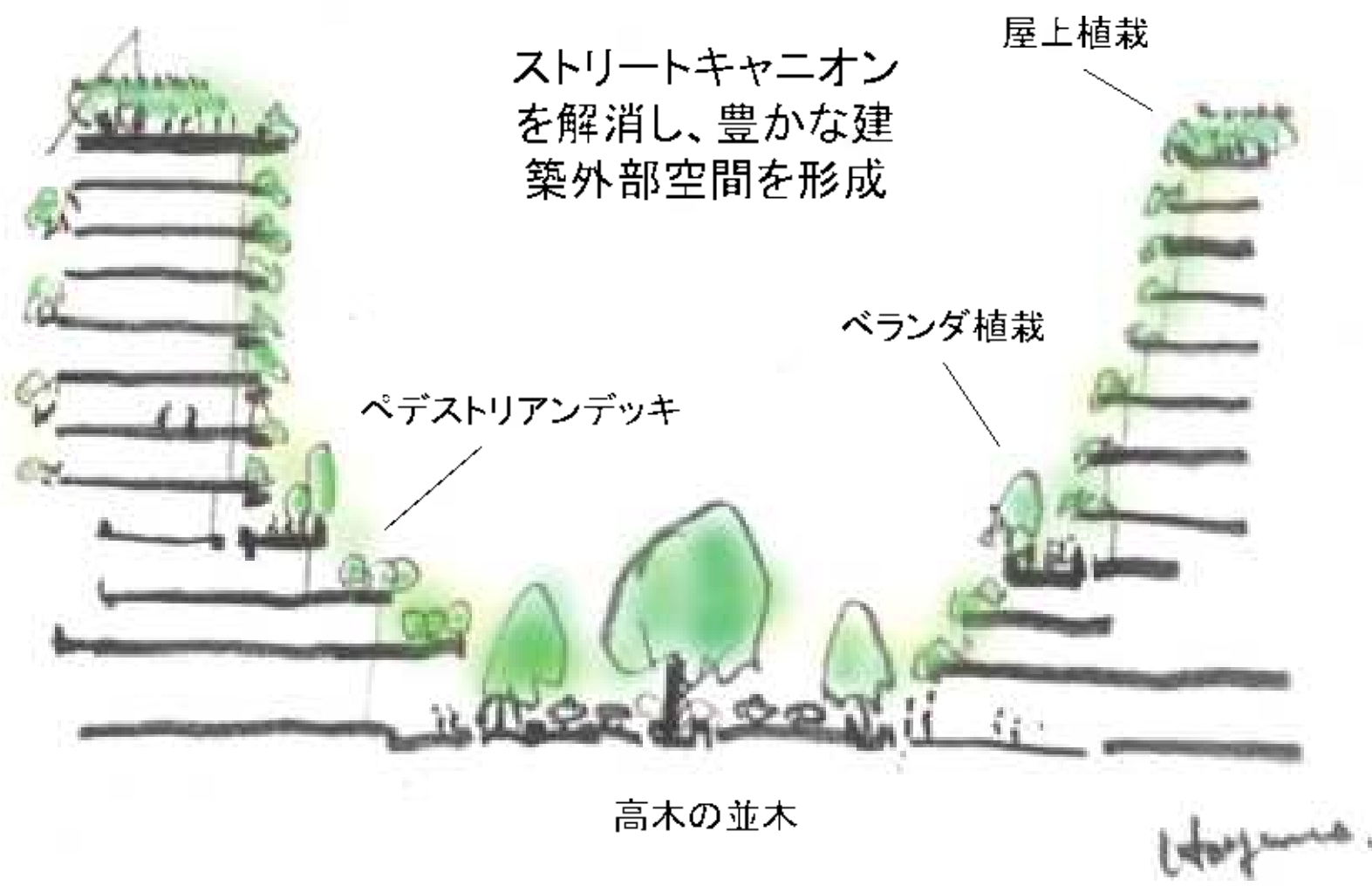
現状



現状を緑化したもの



建物をセットバックし、
地面や建物を緑で包む



ストリートキャニオン
を解消し、豊かな建
築外部空間を形成

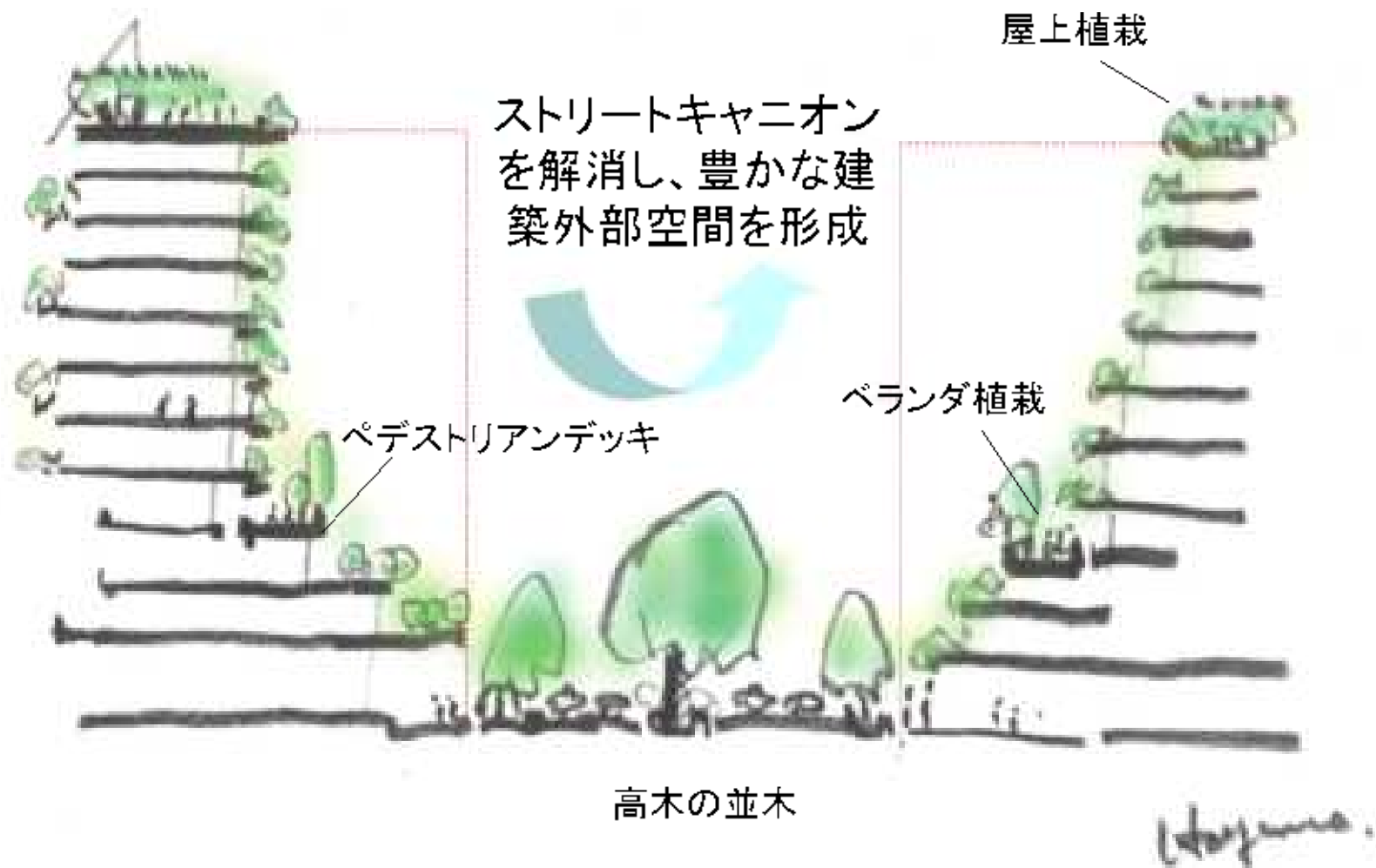
屋上植栽

ベランダ植栽

ペデストリアンデッキ

高木の並木

Hayama.



建物をセットバックし、地面や建物を緑で包む



現状

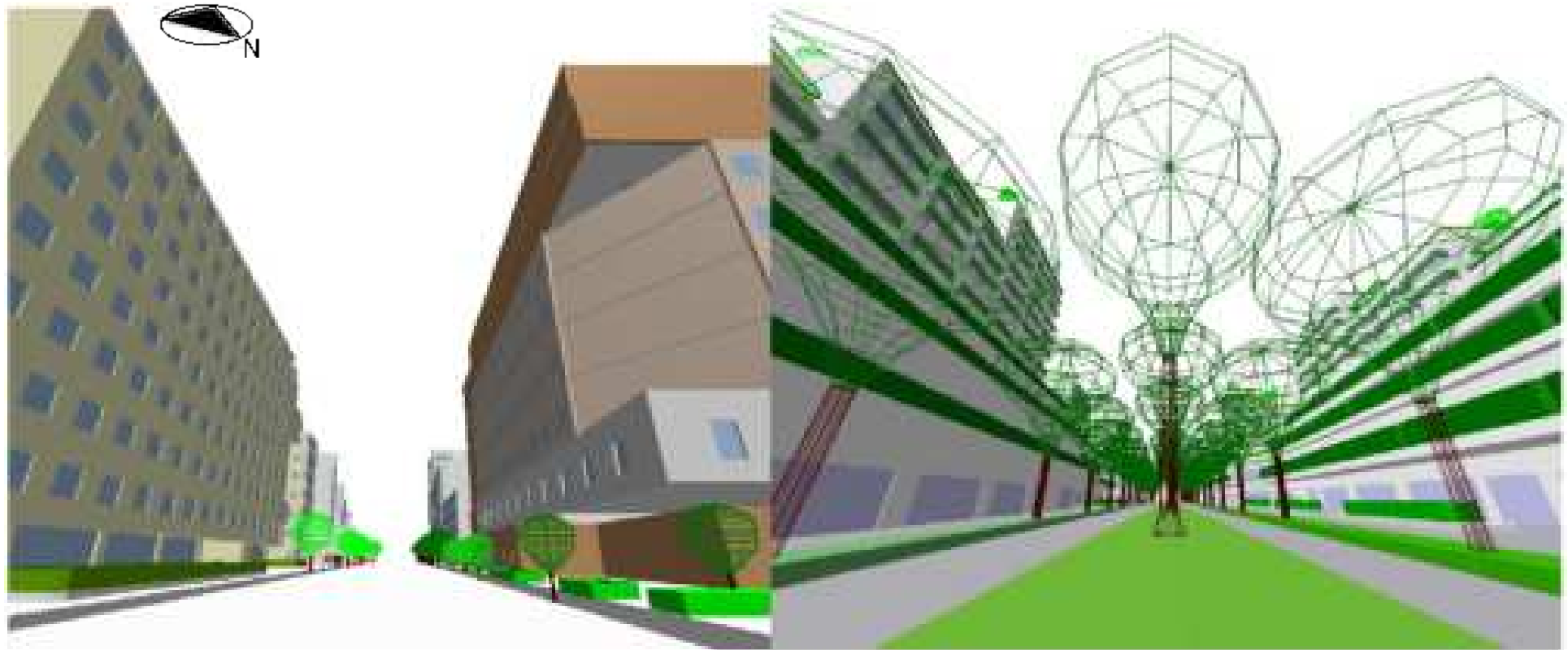


現状を緑化したもの



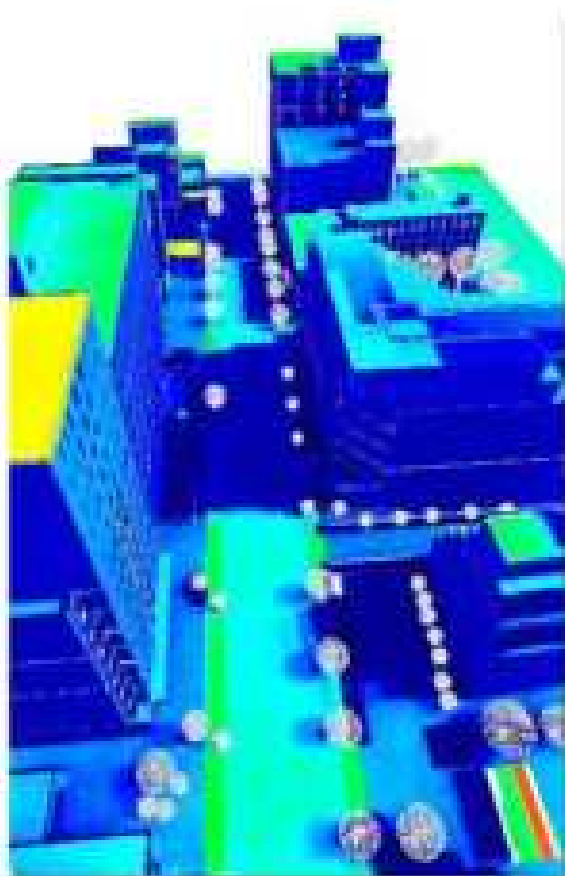
建物をセットバックし、
地面や建物を緑で包む

通りから見た景観

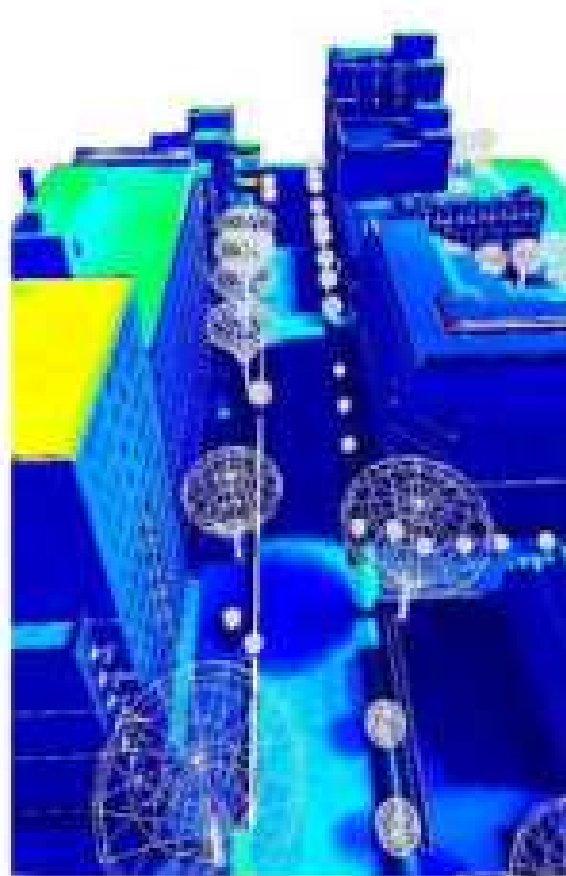


現状

建物をセットバックし、
地面や建物を緑で包む



現状



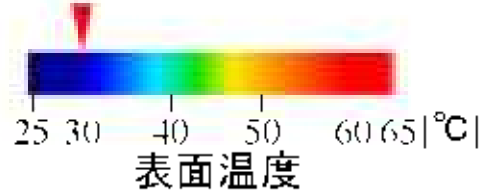
現状を緑化したもの

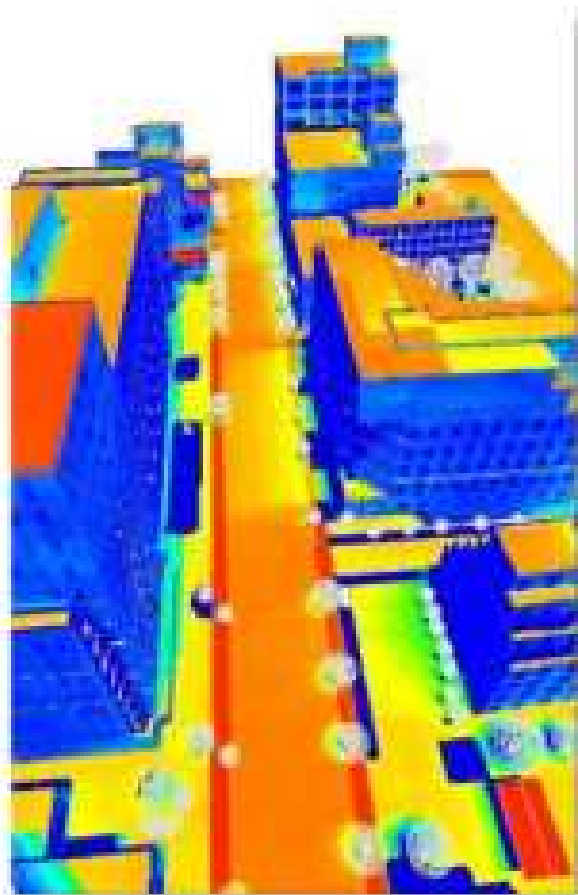


建物をセットバックし、
地面や建物を緑で包む

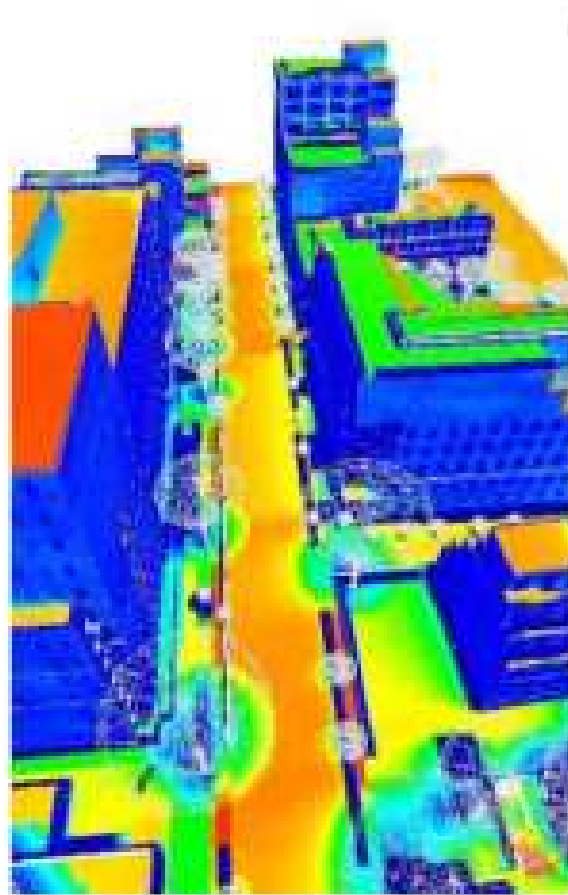
東京 夏季晴天日 9:00

気温: 30.3°C

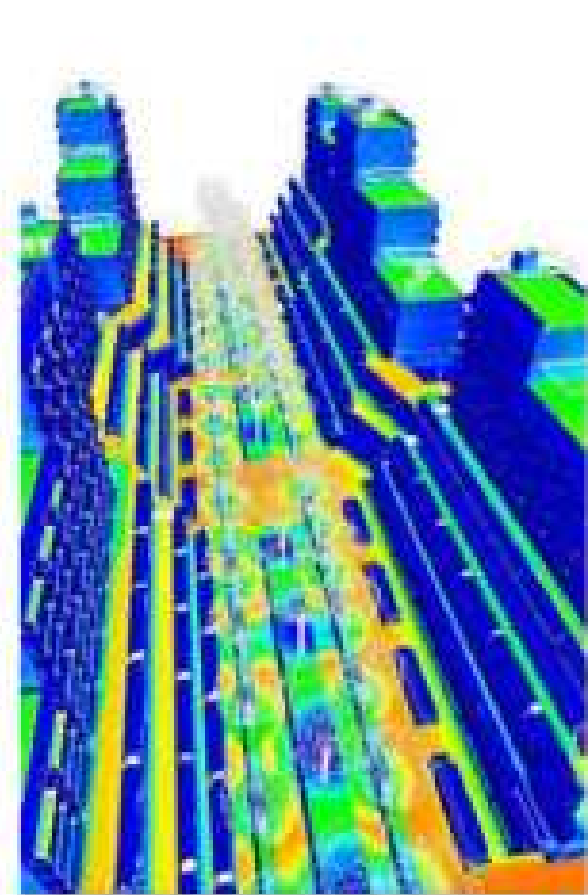




現状



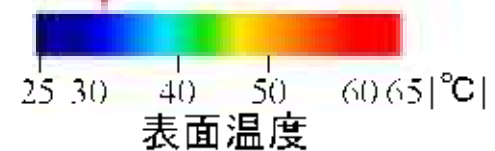
現状を緑化したもの

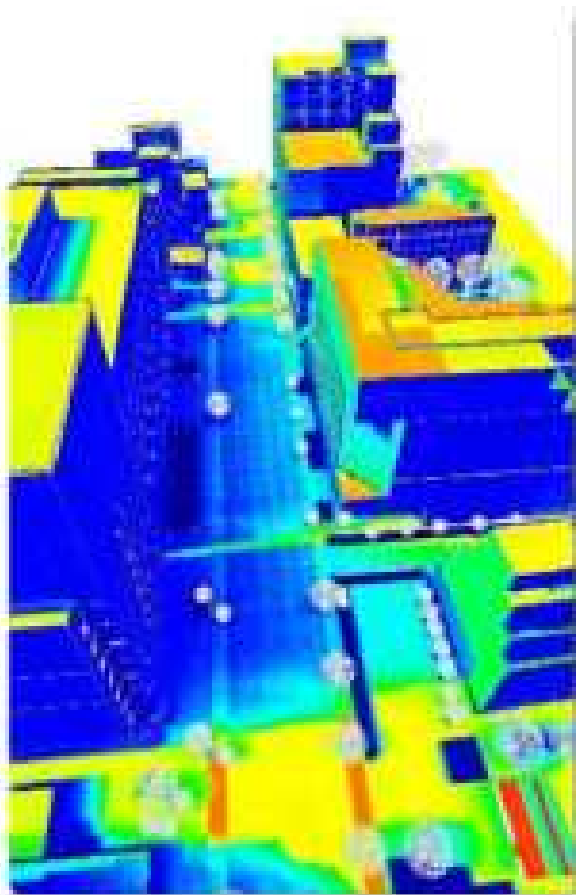


建物をセットバックし、
地面や建物を緑で包む

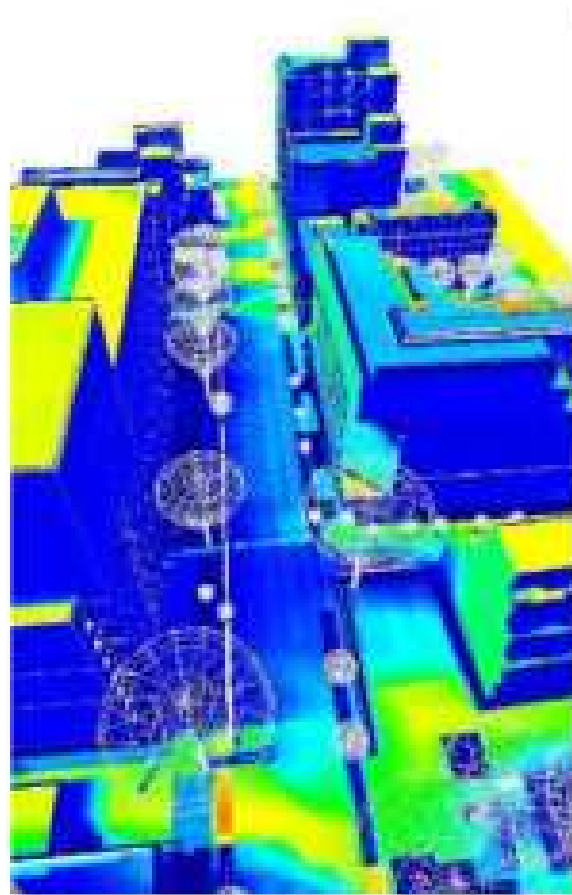
東京 夏季晴天日 12:00

気温: 32.3°C

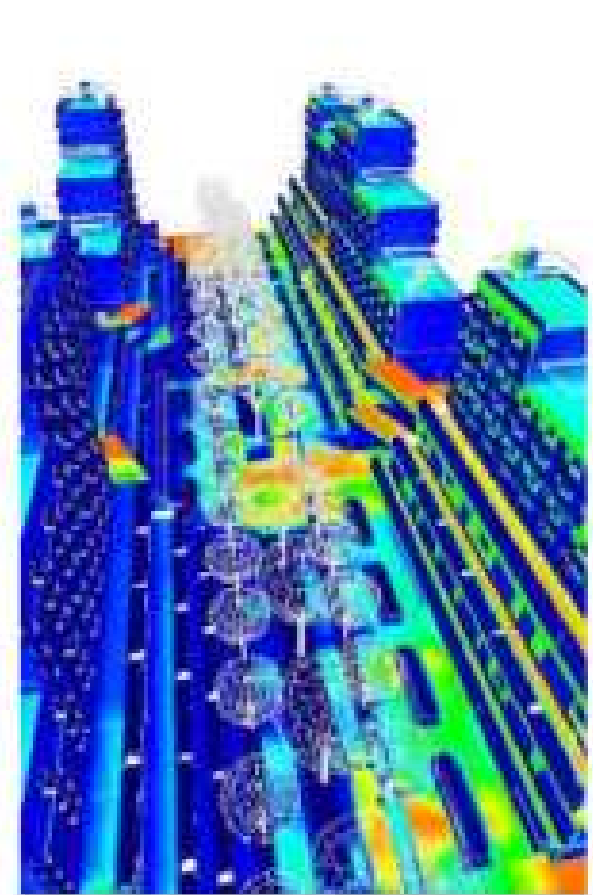




現状



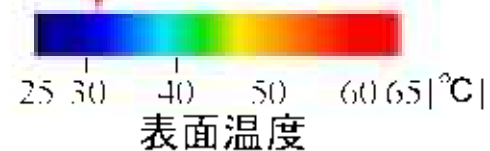
現状を緑化したもの

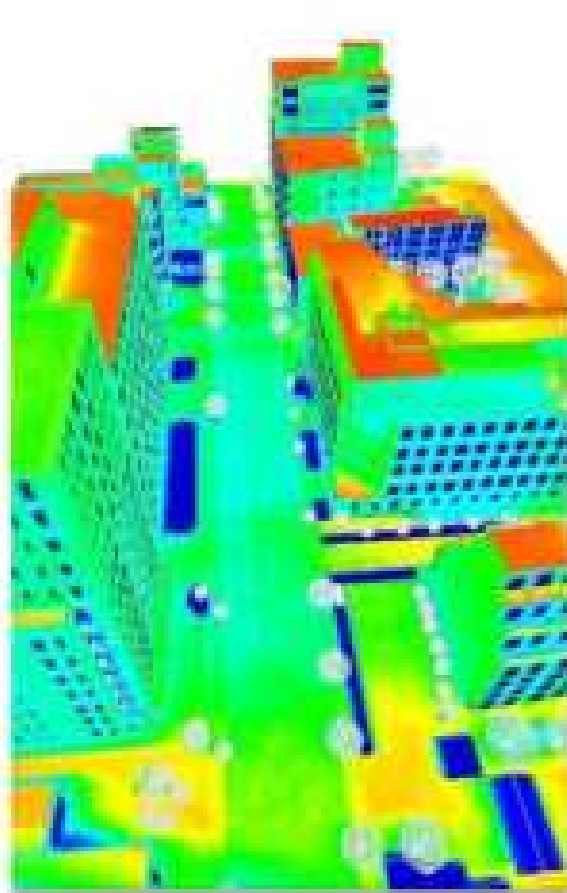


建物をセットバックし、
地面や建物を緑で包む

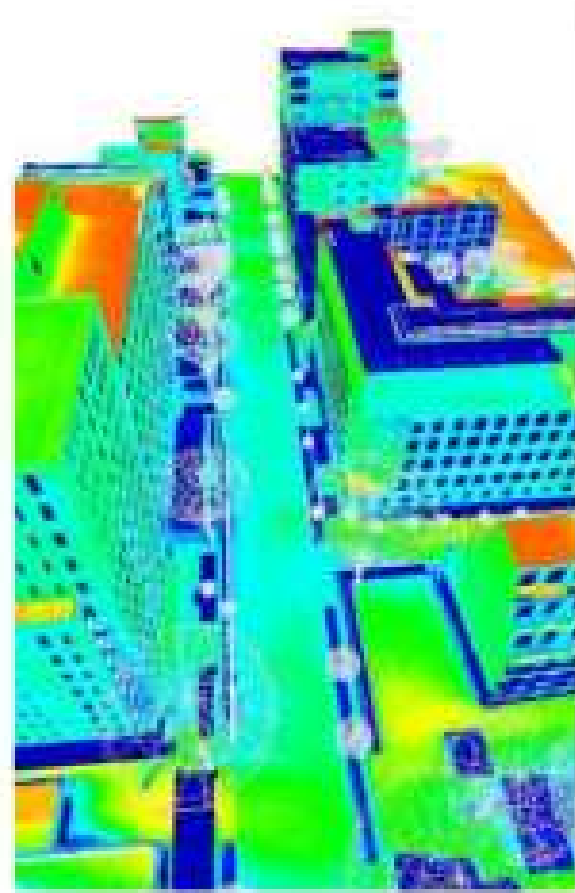
東京 夏季晴天日 15:00

気温: 31.7°C

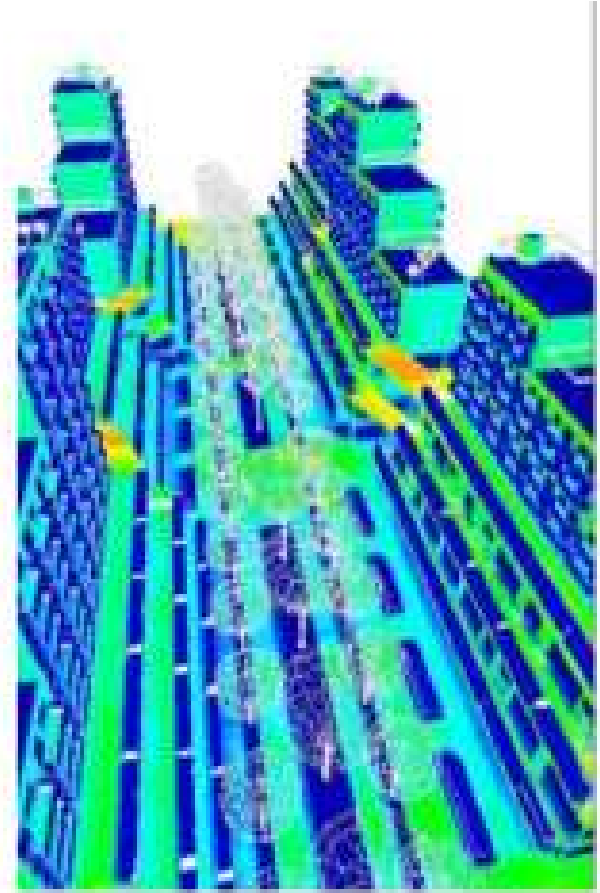




現状



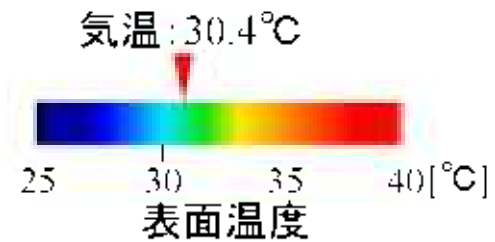
現状を緑化したもの



建物をセットバックし、
地面や建物を緑で包む

東京 夏季晴天日 20:00

(温度レンジを変更)



1. 熱環境対策のための設計手法の効果の確認

➡ 3D-CADによる表面温度分布の可視化

2. 周辺環境への負荷の低減

大気への顕熱負荷



ヒートアイランドポテンシャル(HIP)
(対象地の全表面からの顕熱流量)

環境負荷



室内熱負荷計算と連成し、空調負荷、
CO₂排出量の算出

3. 快適な屋外空間の創造

熱放射環境



居住域高さの平均放射温度(MRT)

クールスポット
の評価



CFDとの連成解析により、SET*の算出

指標としてのHIP –Heat Island Potential–

大気への顕熱負荷（対象地の全表面からの顕熱流量）

ヒートアイランド
ポテンシャル
(熱量)

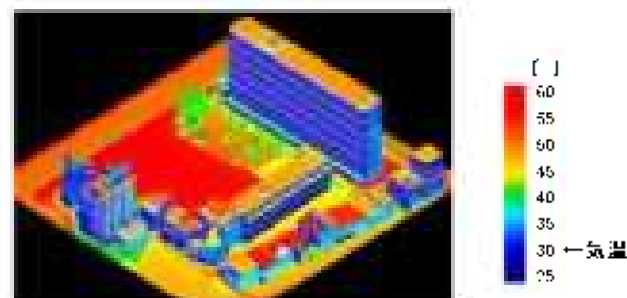
$$HHP[W/m^2] = \frac{\int_{all\ surfaces} \alpha_c (T_s - T_a) dS}{A}$$

街区内の微小面の表面温度 (°C) 気温 (°C)
対流熱伝達率 (W/m²°C)

街区の (水平面投影) 面積 (m²)

ヒートアイランド
ポテンシャル
(温度表示)

$$HHP[°C] = \frac{\int_{all\ surfaces} (T_s - T_a) dS}{A}$$

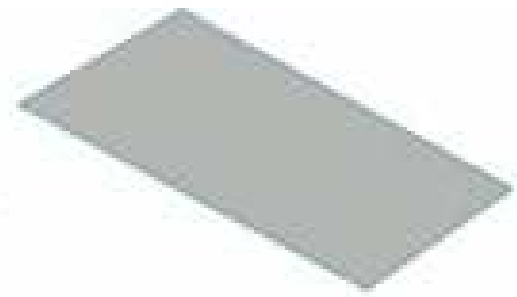
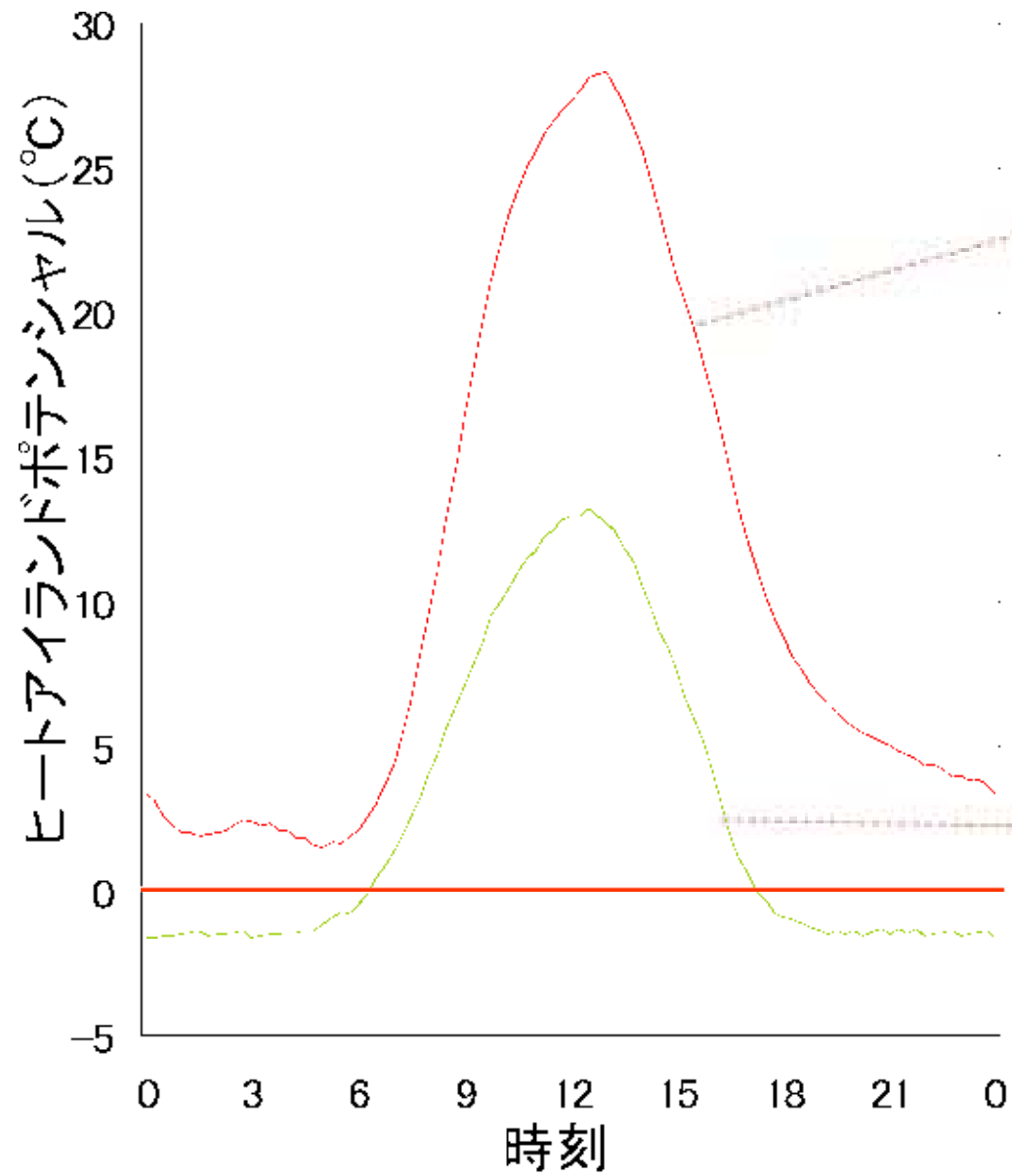


20°C (HIP) + 30°C (気温)
= 50°C (表面温度)

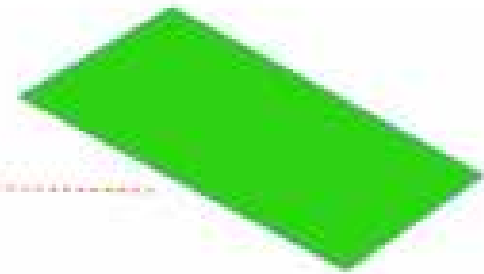


凸凹のある街区を平面と考えた場合、その面の平均的な表面温度が気温より20°C高いことを示す。

(例：気温：30°C → 表面温度：50°C)

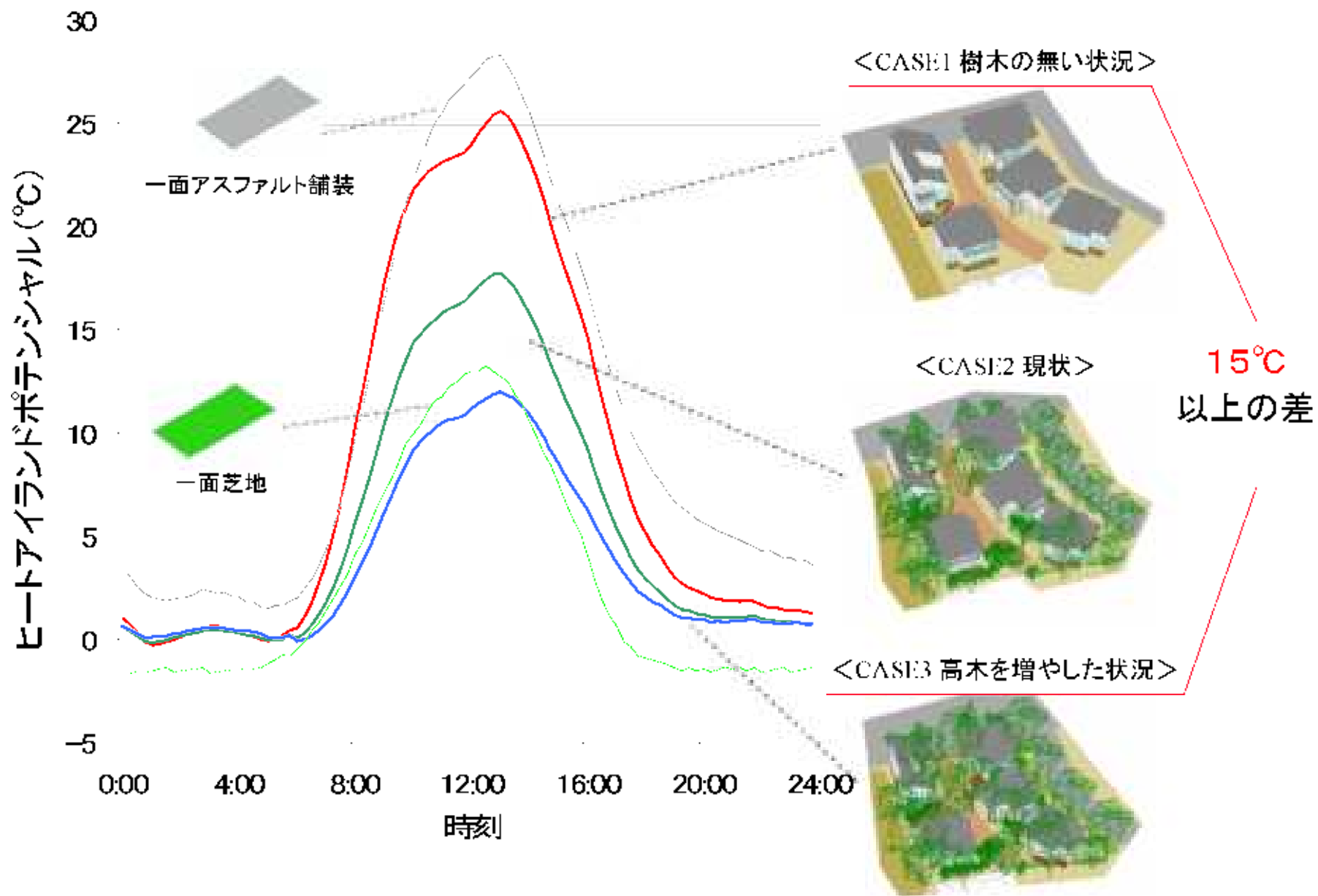


一面アスファルト舗装



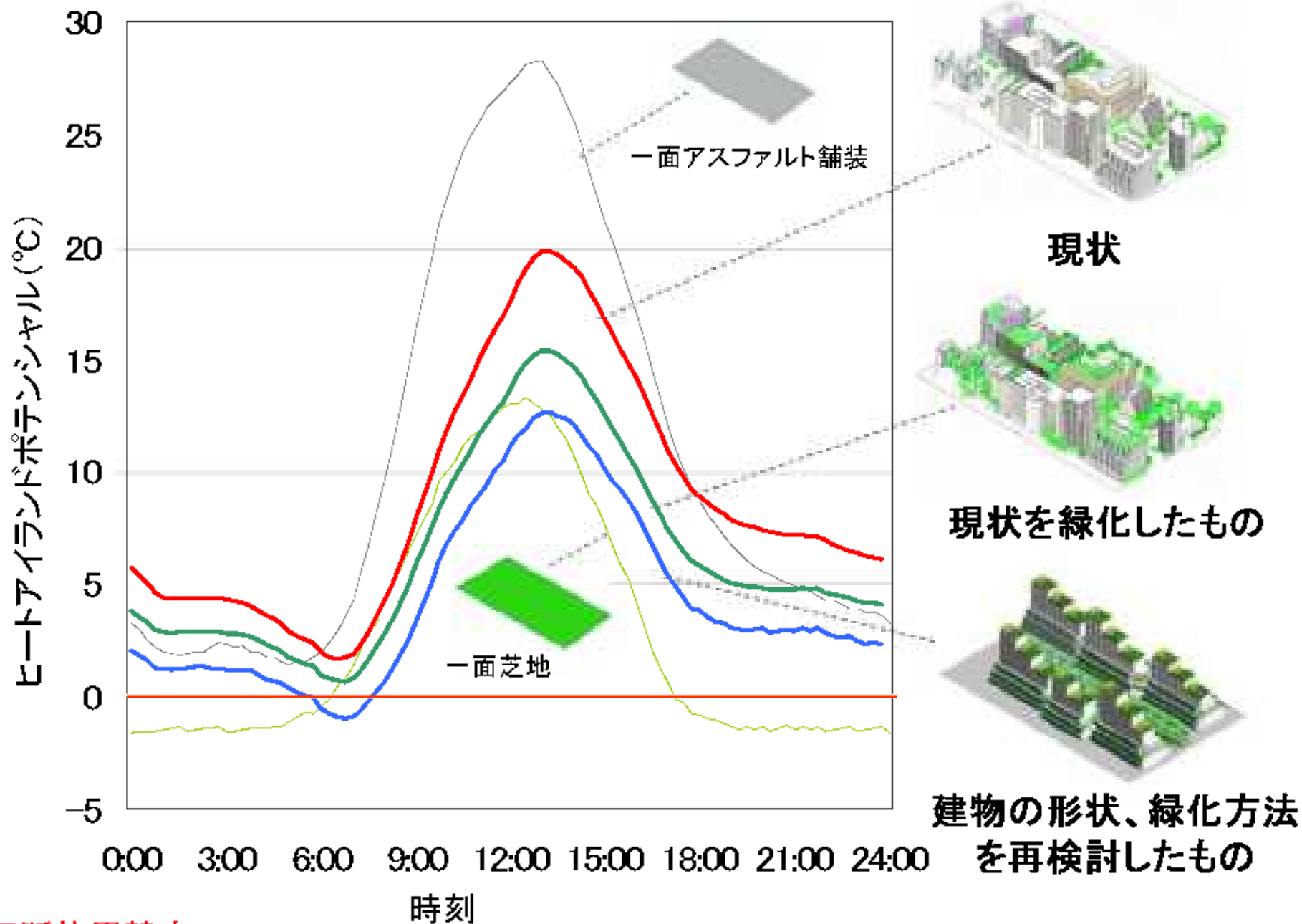
一面芝地

大気への顕熱負荷 住宅地を緑化した場合

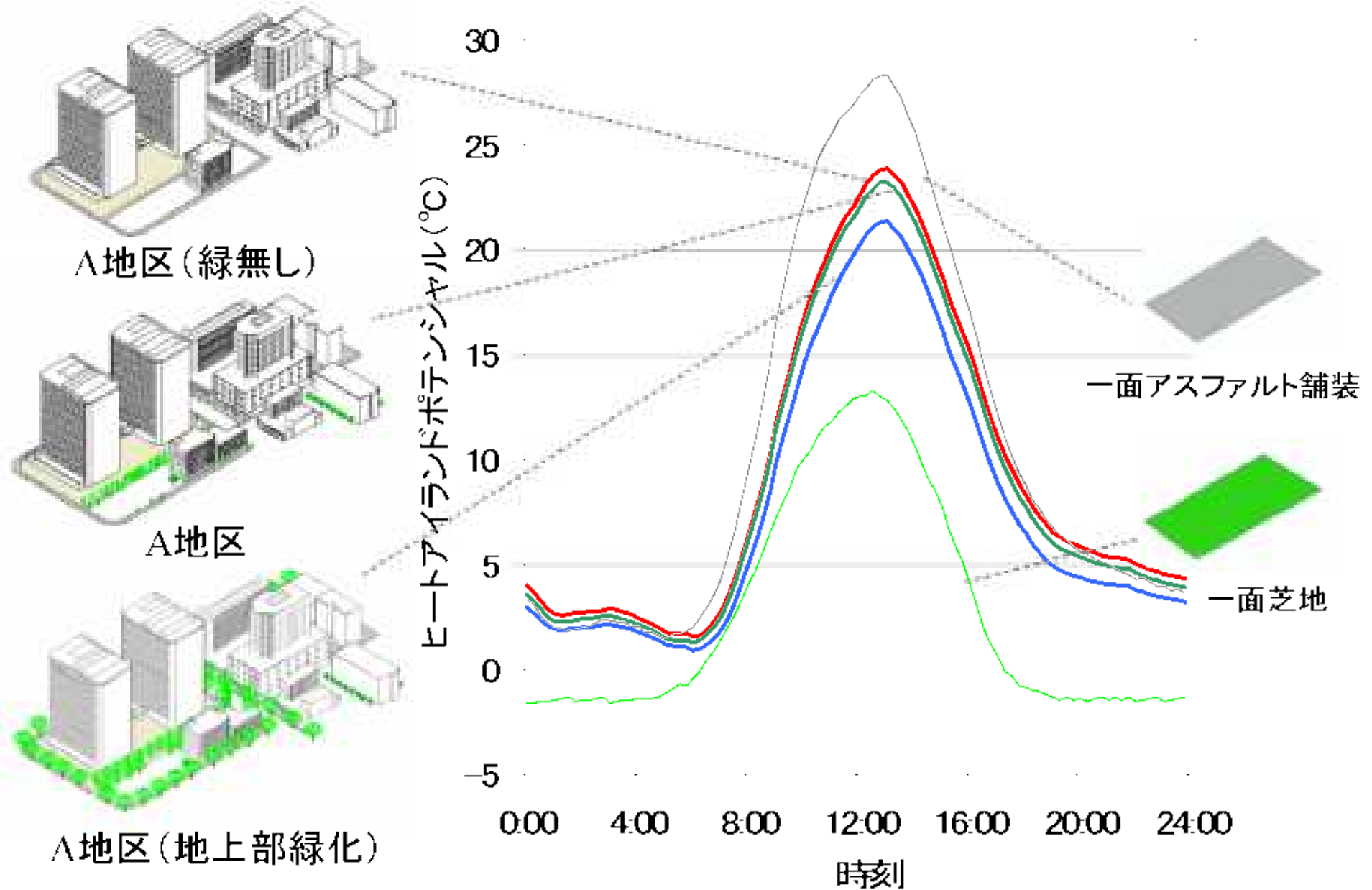


無断使用禁止

建築形状・緑化方法を同時に検討した場合

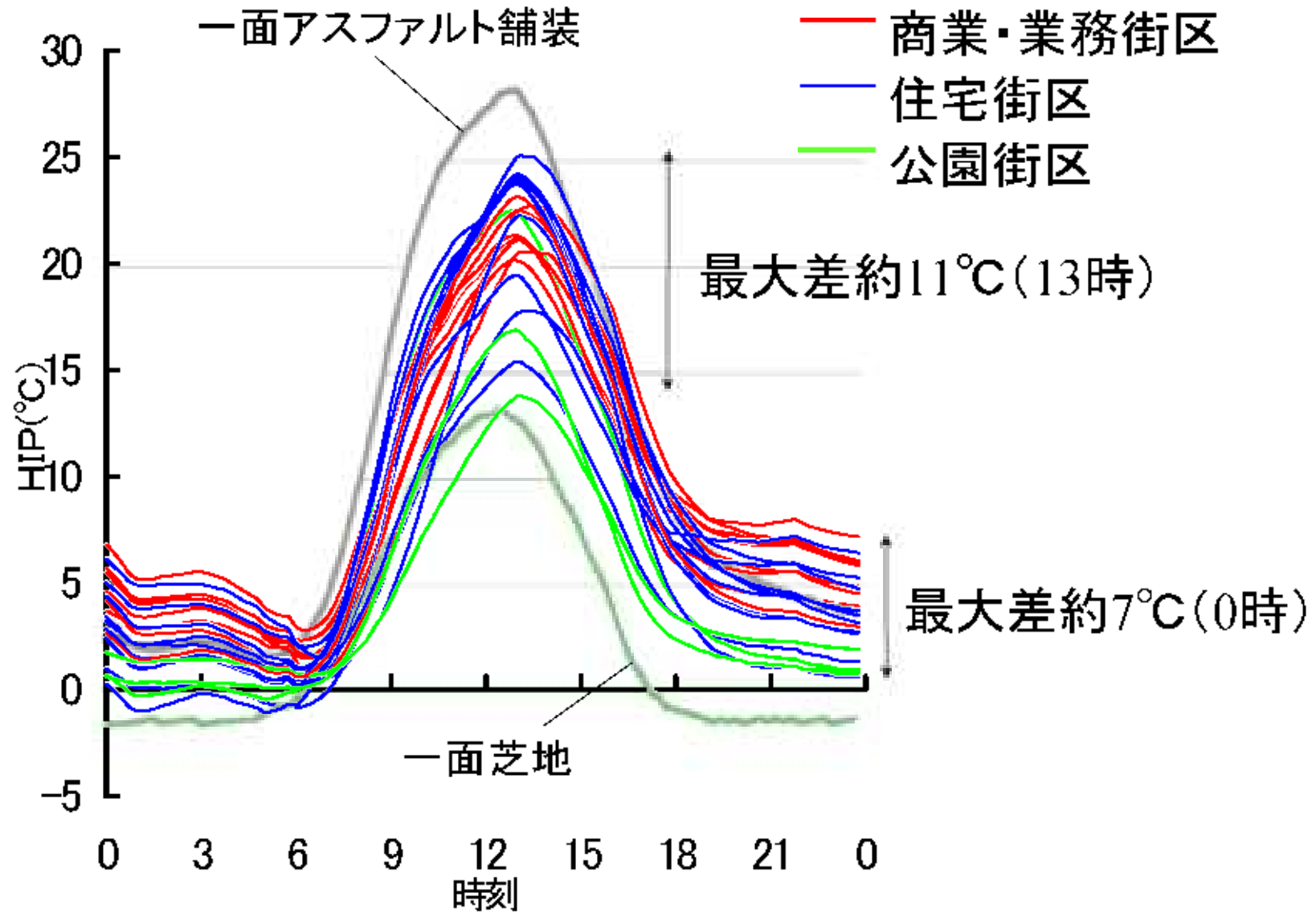


大気への顕熱負荷 商業地を緑化した場合



無断使用禁止

いろいろな街区のHIPの日変化



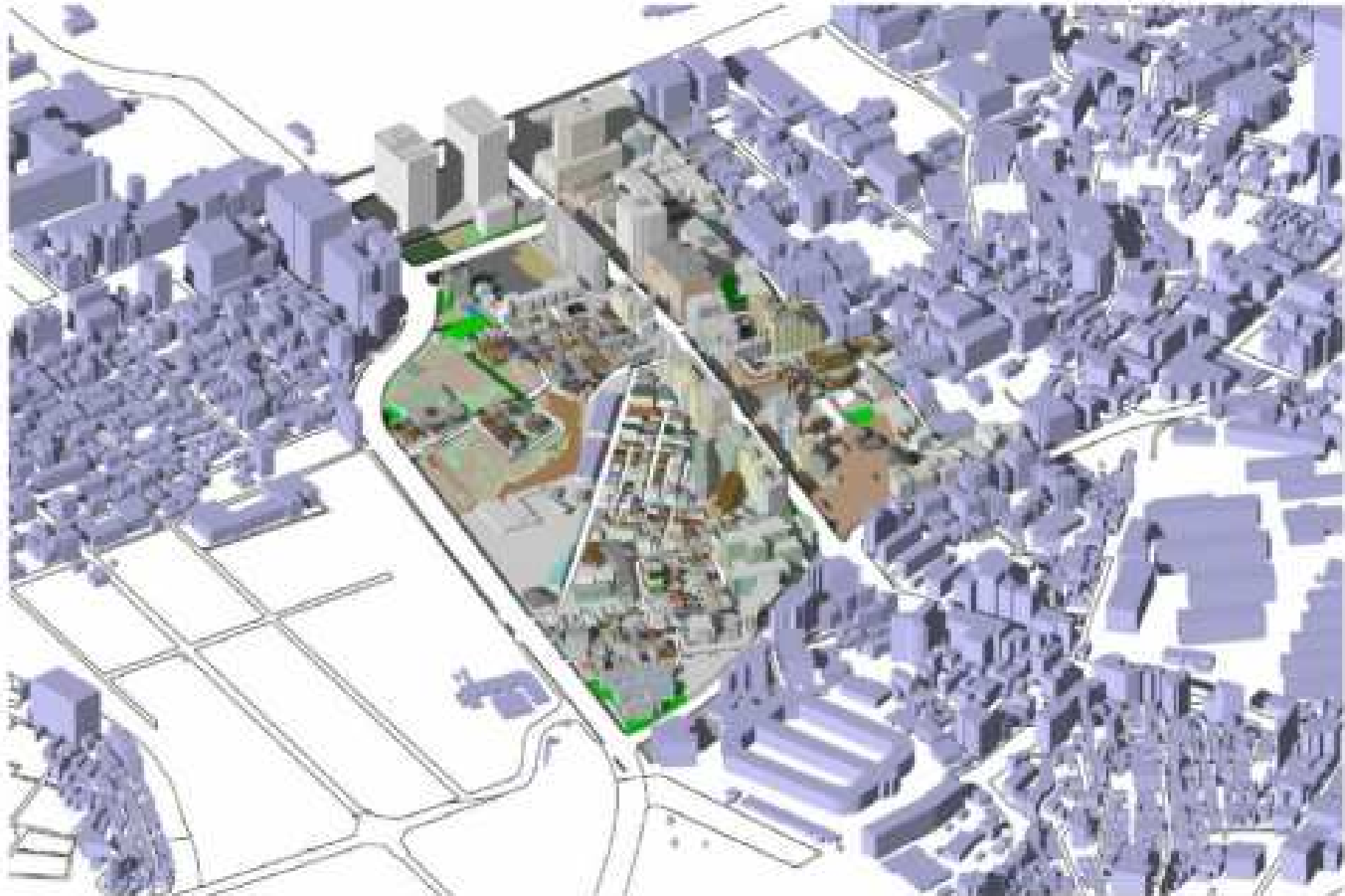
1/2500都市計画基本図を基にした都市の再現



無断使用禁止

3D-CADによる都市建築物の再現

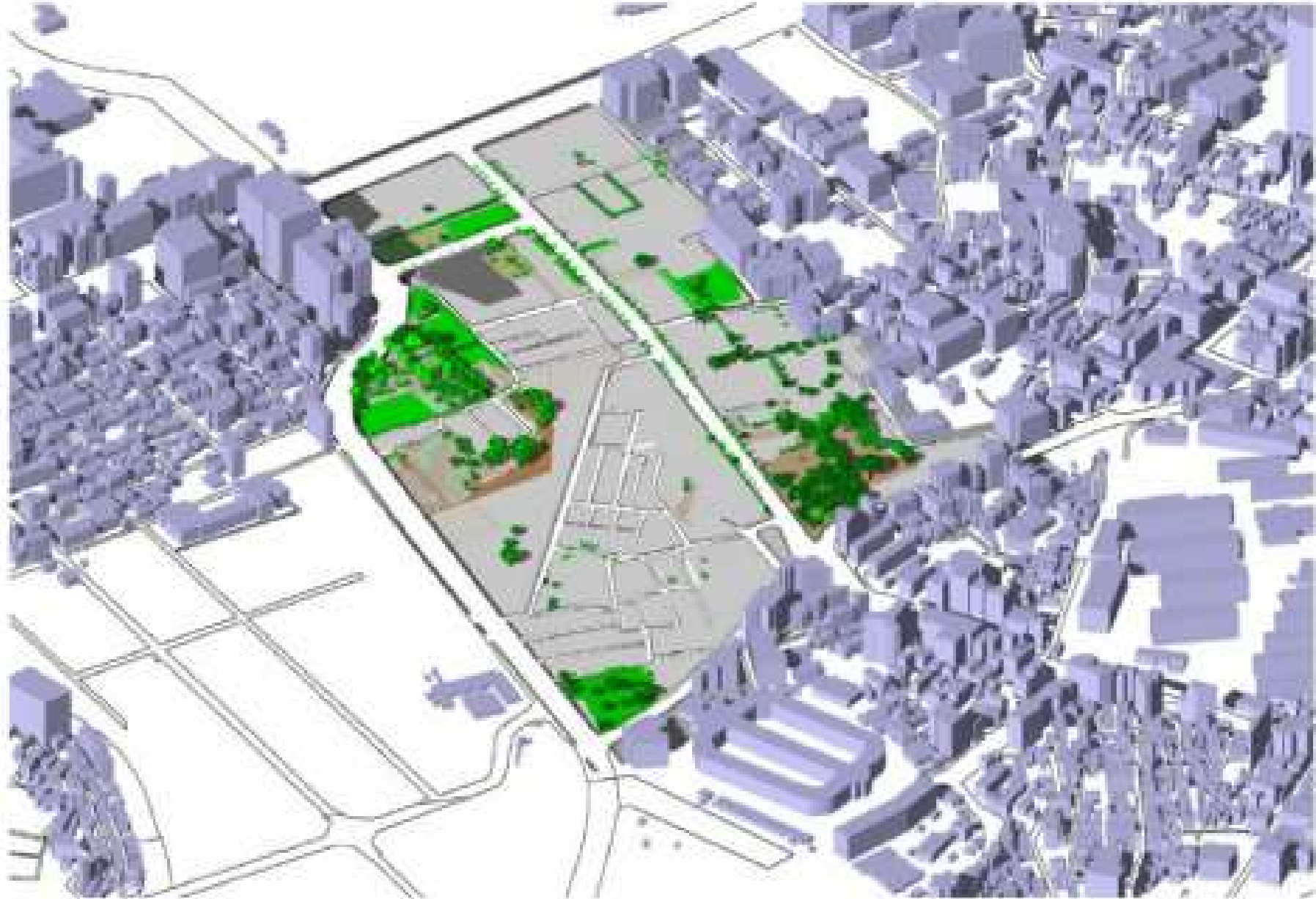
土地被覆の調査〔建物(窓・開口部、壁面付属物、屋上設置物、凹凸)、地表面(分布、地上設置物)〕



無断使用禁止

3D-CADによる都市の緑の再現

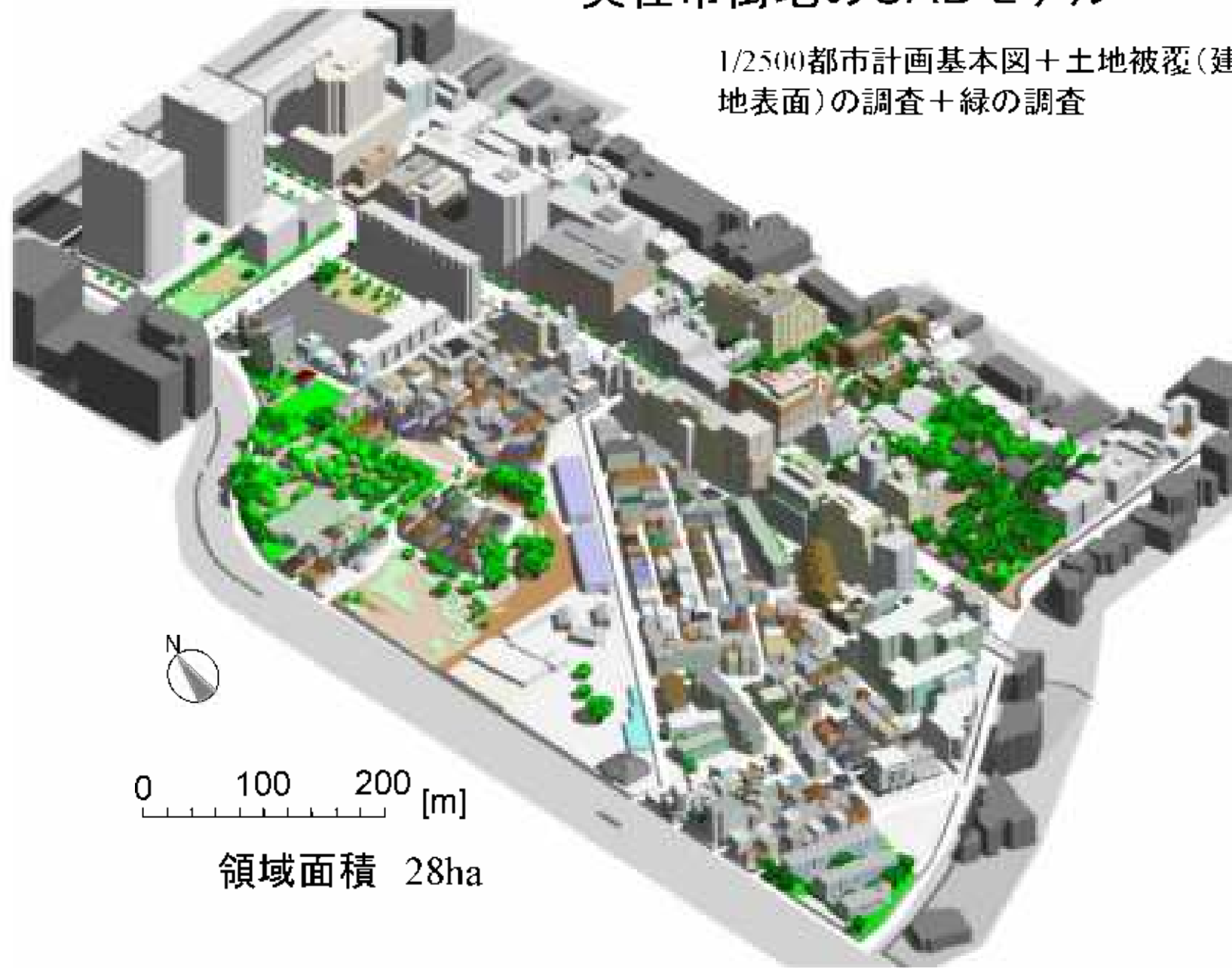
緑の調査[樹木(樹高, 樹冠幅, 樹冠下高さ, 樹形, 日射透過率), 低木・生垣, 地被植物]



無断使用禁止

実在市街地のCADモデル

1/2500都市計画基本図+土地被覆(建物、
地表面)の調査+緑の調査



3D-CADによる都市の再現

1/2500都市計画基本図+土地被覆(建物, 地表面)の調査+緑の調査



高層業務地区



商業地区



低層住宅地区



公園

無断使用禁止

部位伝熱モデル データベース

○一般的な部位

- ・ 表面材料の色
- ・ 断面の仕様

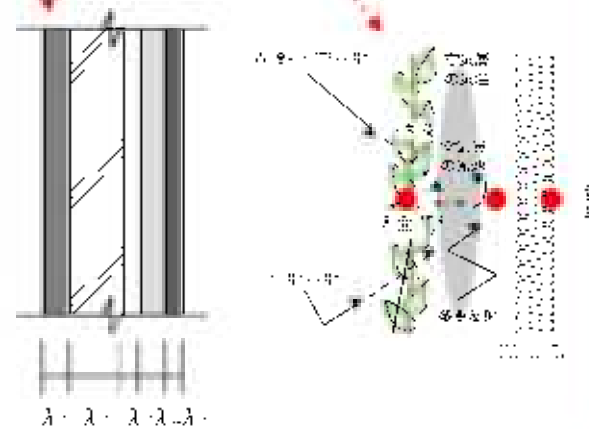
日射反射率

熱伝導率

比熱 密度

など

○特別なパッシブ手法

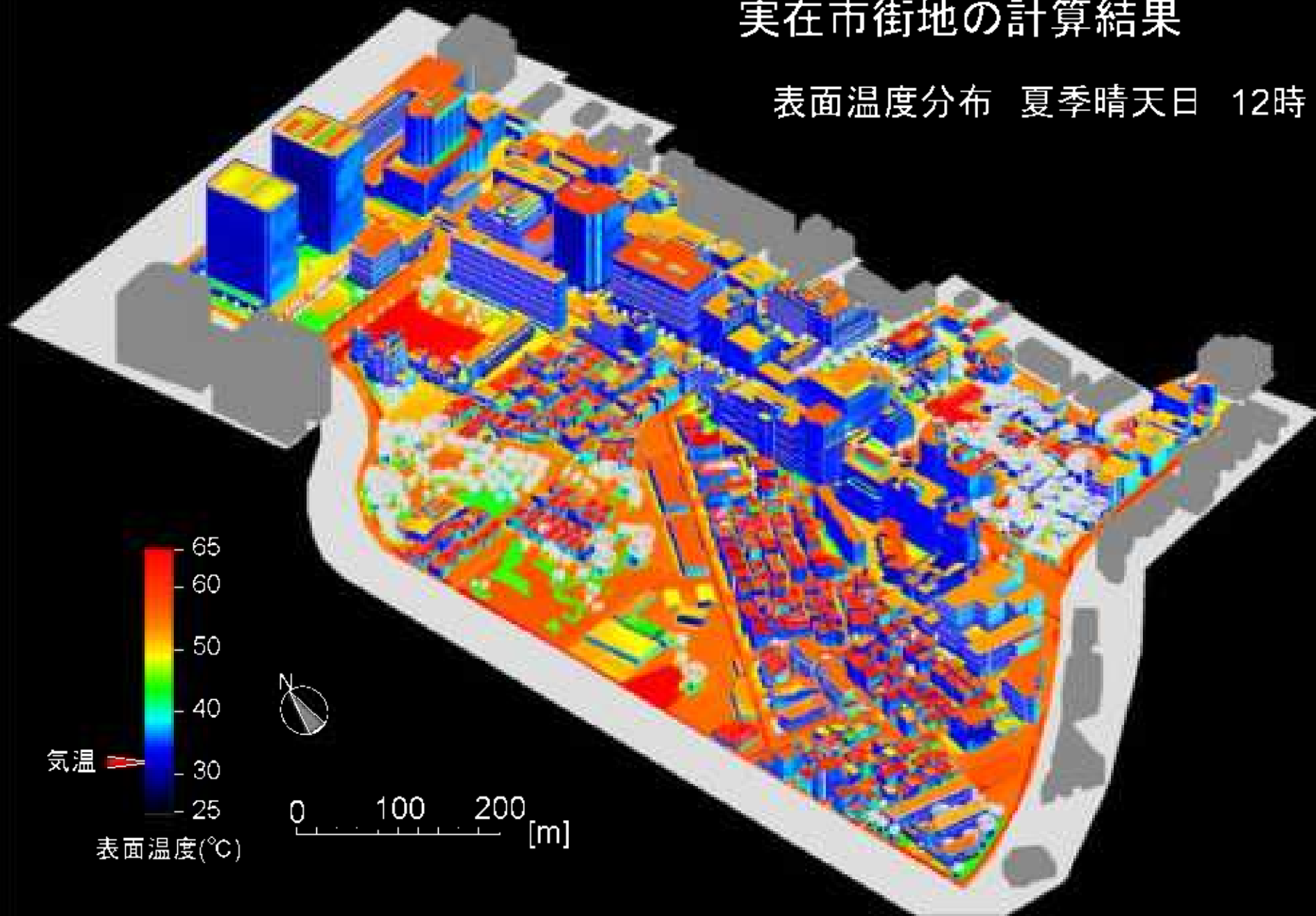


コンクリート壁

壁面緑化

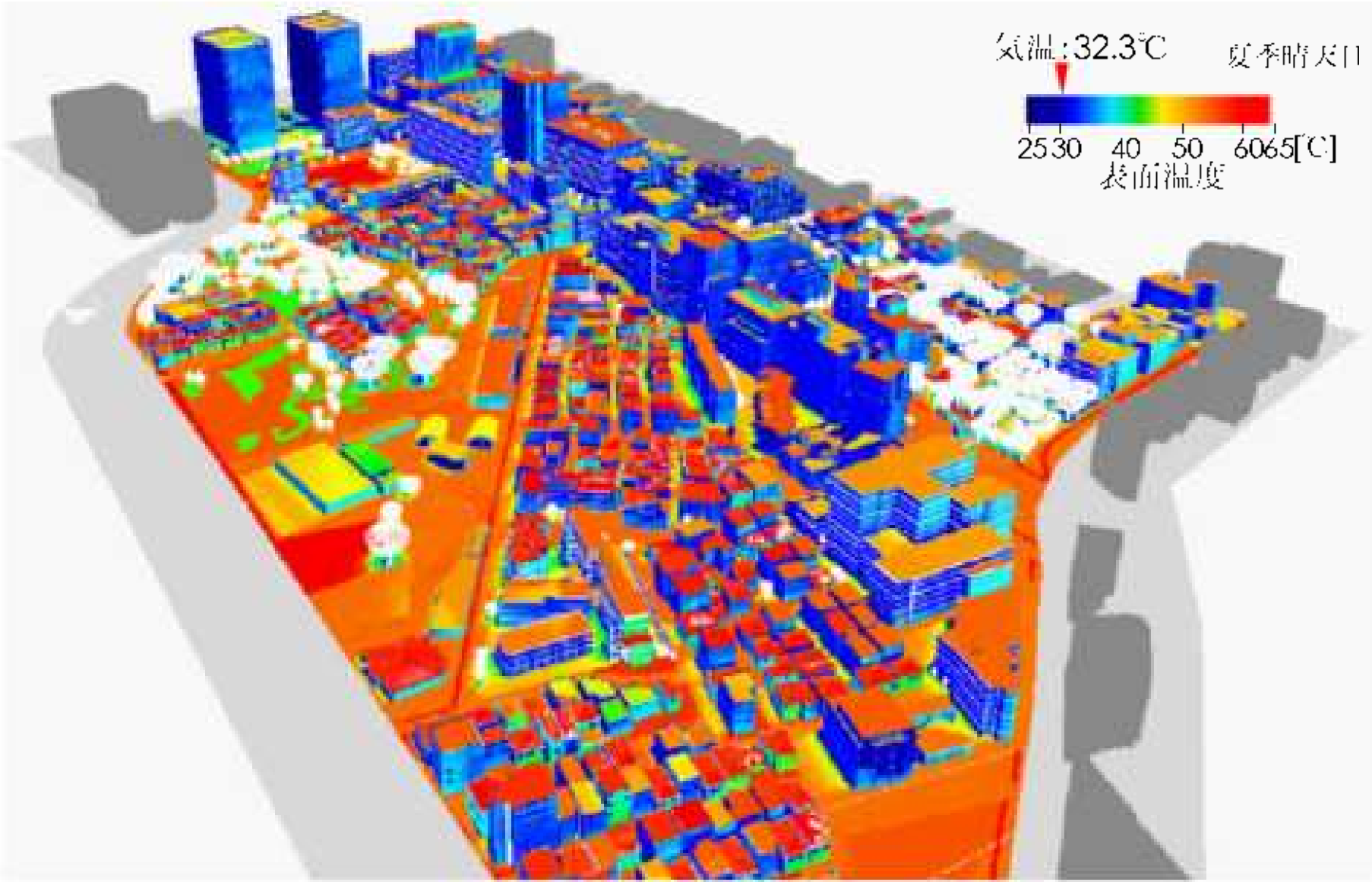
実在市街地の計算結果

表面温度分布 夏季晴天日 12時

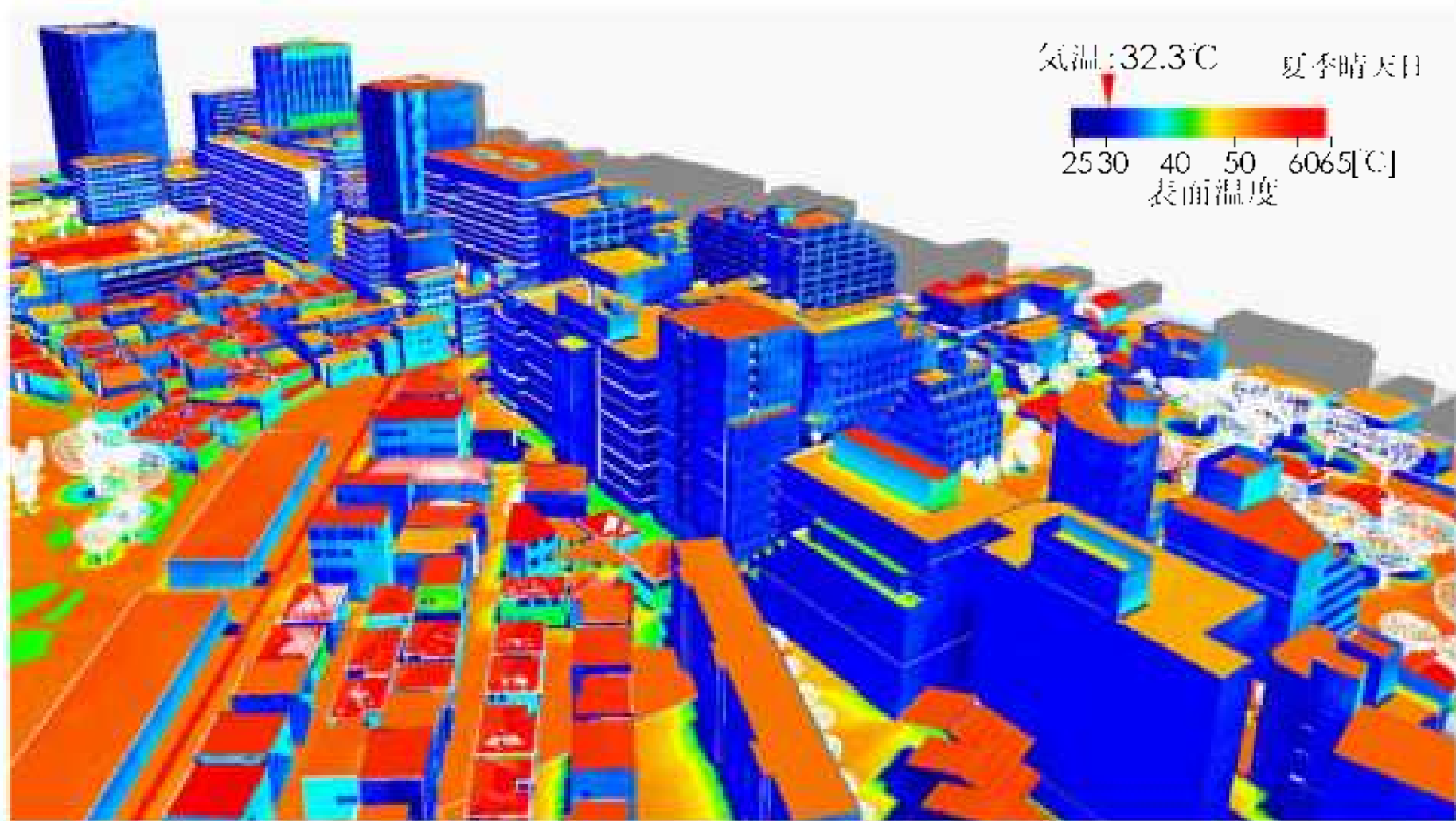


無断使用禁止

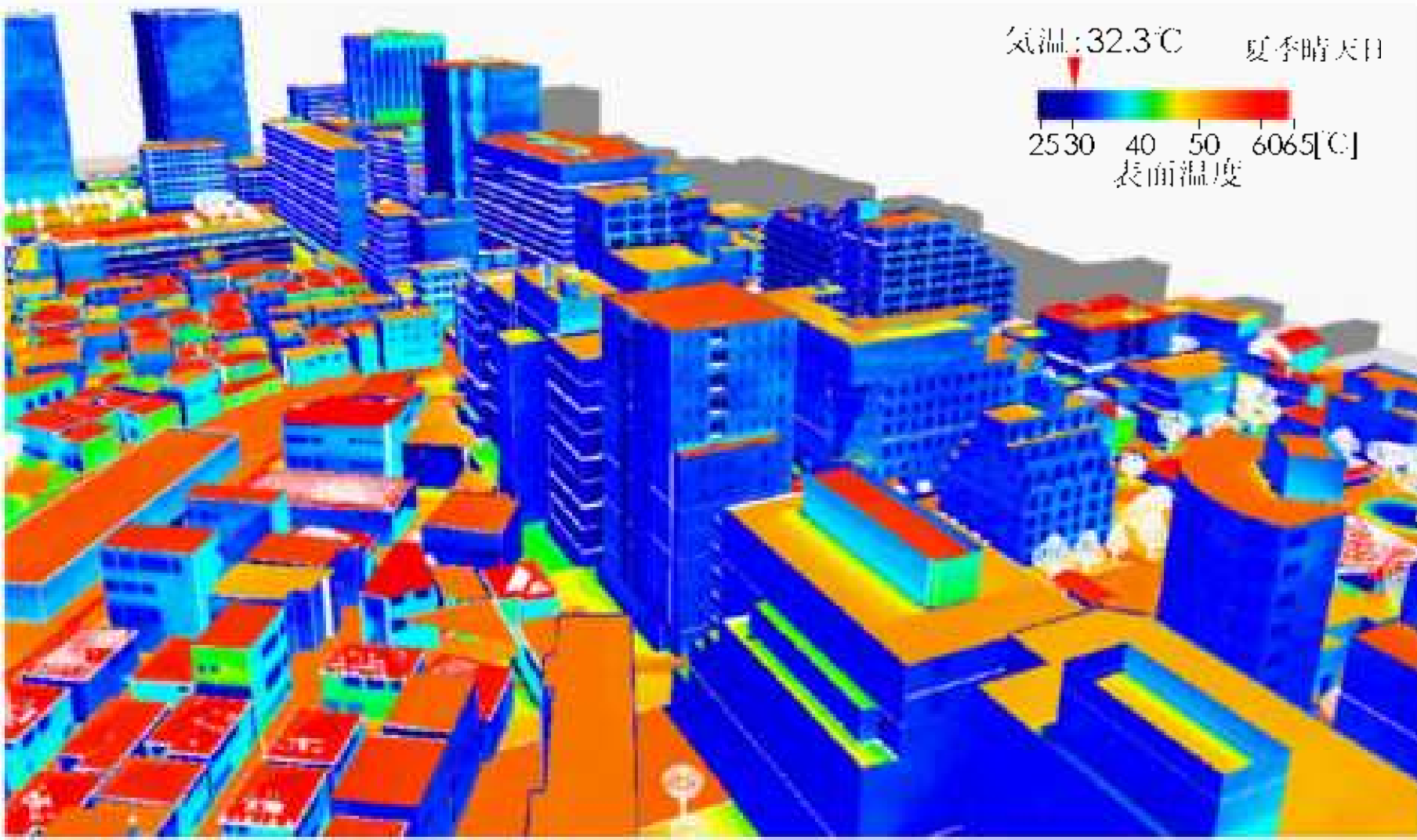
12時表面温度分布



12時表面温度分布

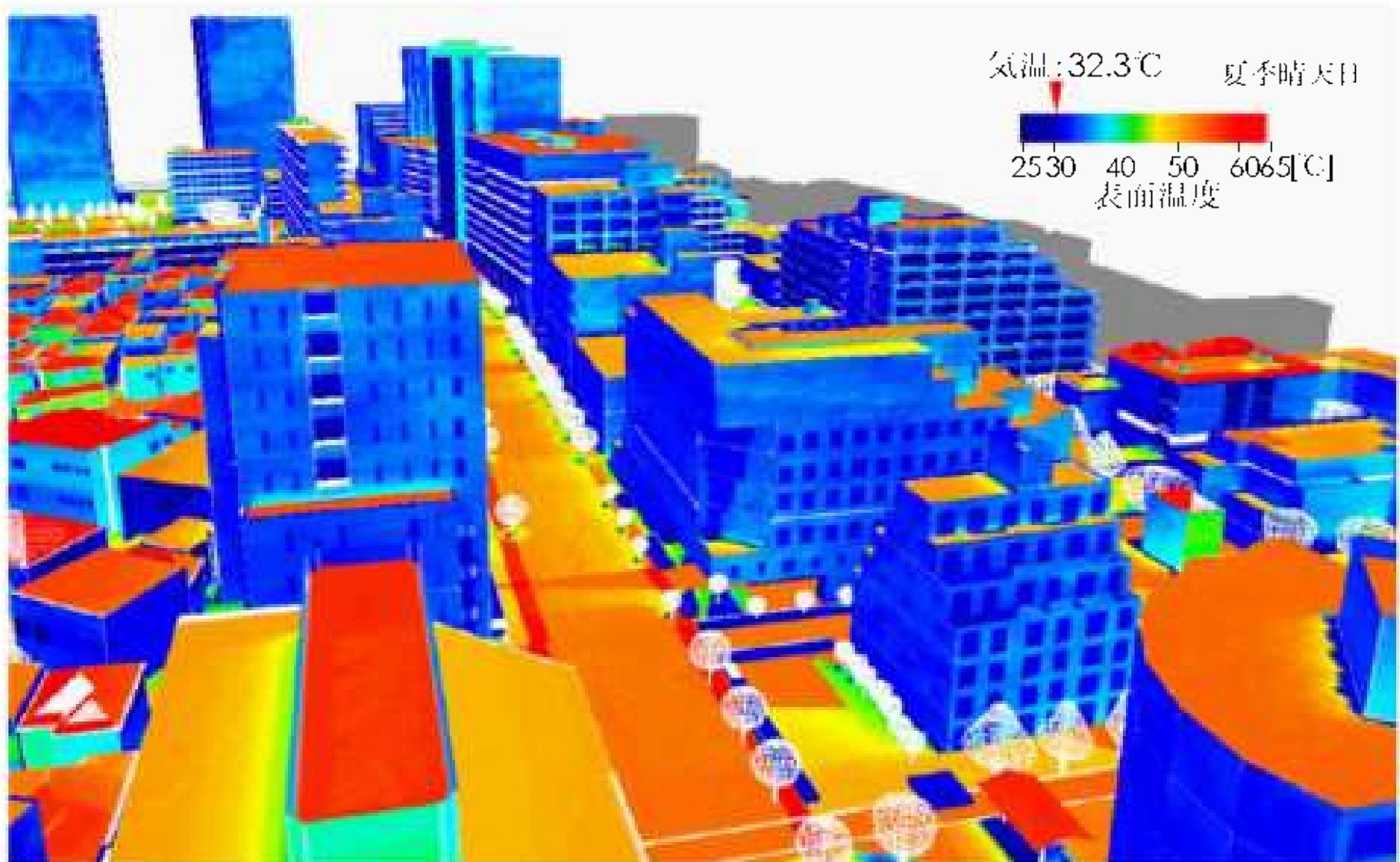


12時表面温度分布



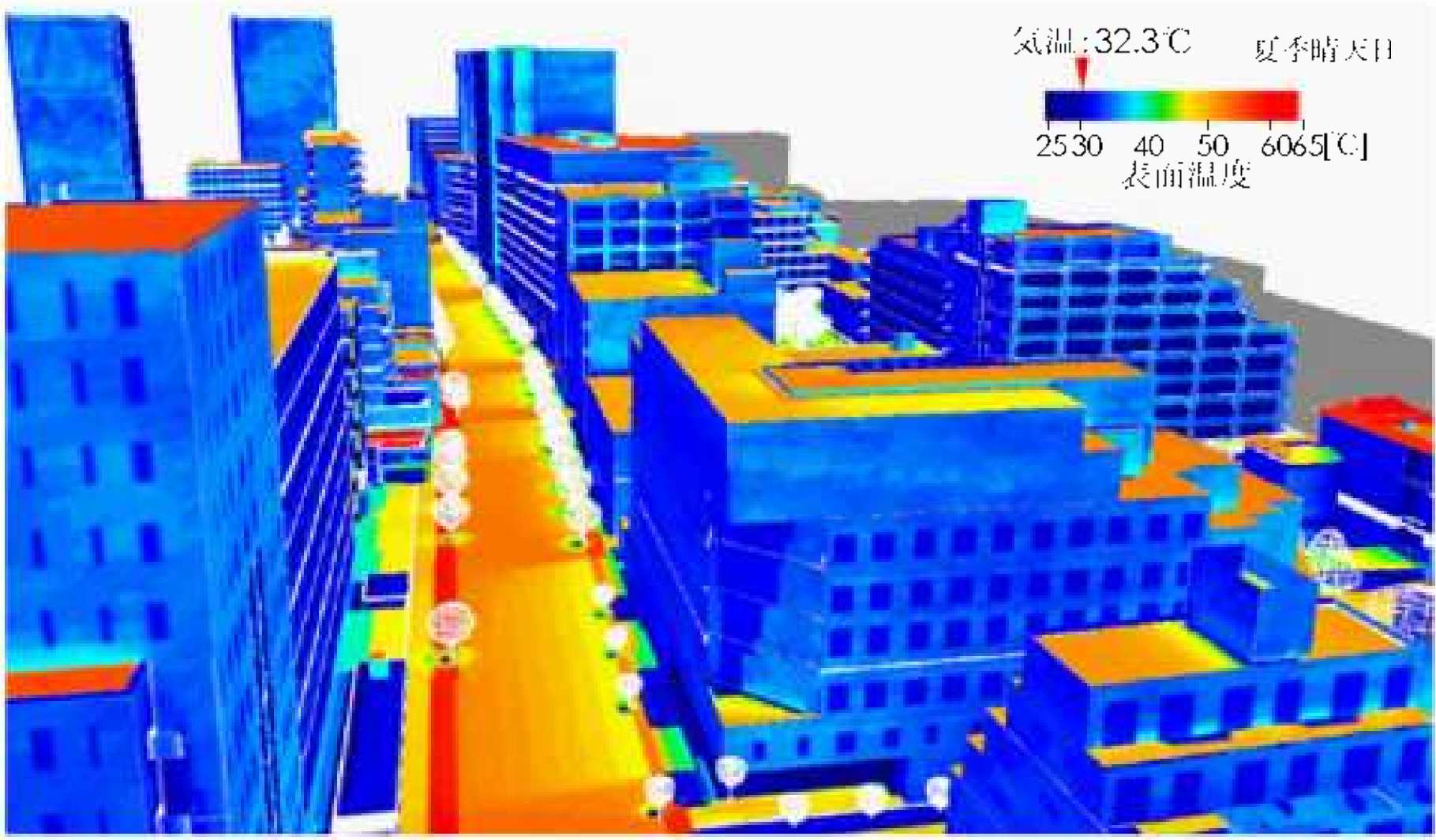
無断使用禁止

12時表面温度分布



無断使用禁止

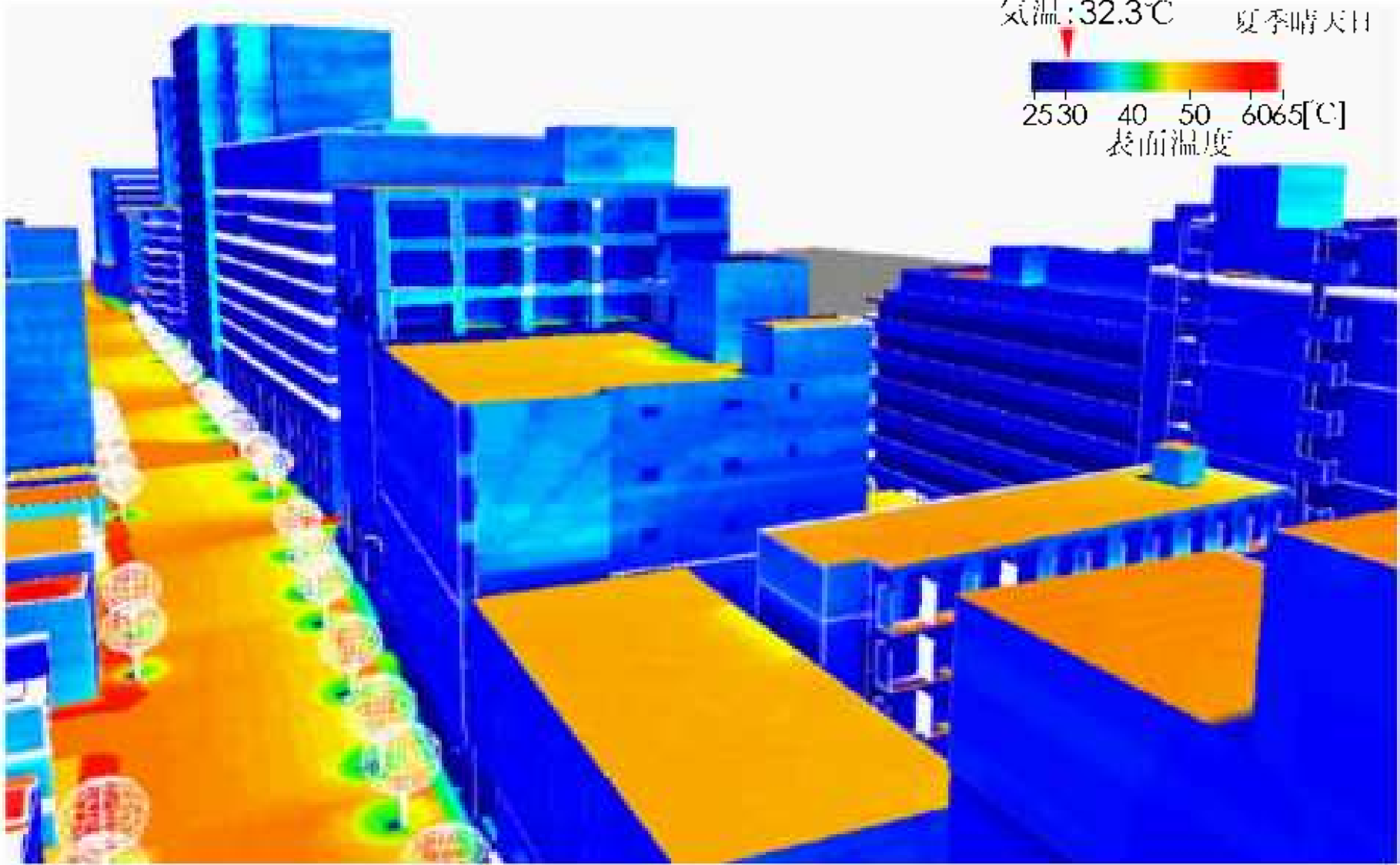
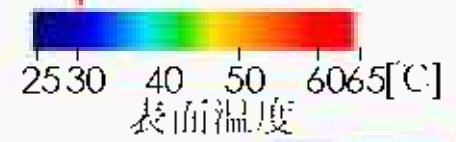
12時表面温度分布



無断使用禁止

12時表面温度分布

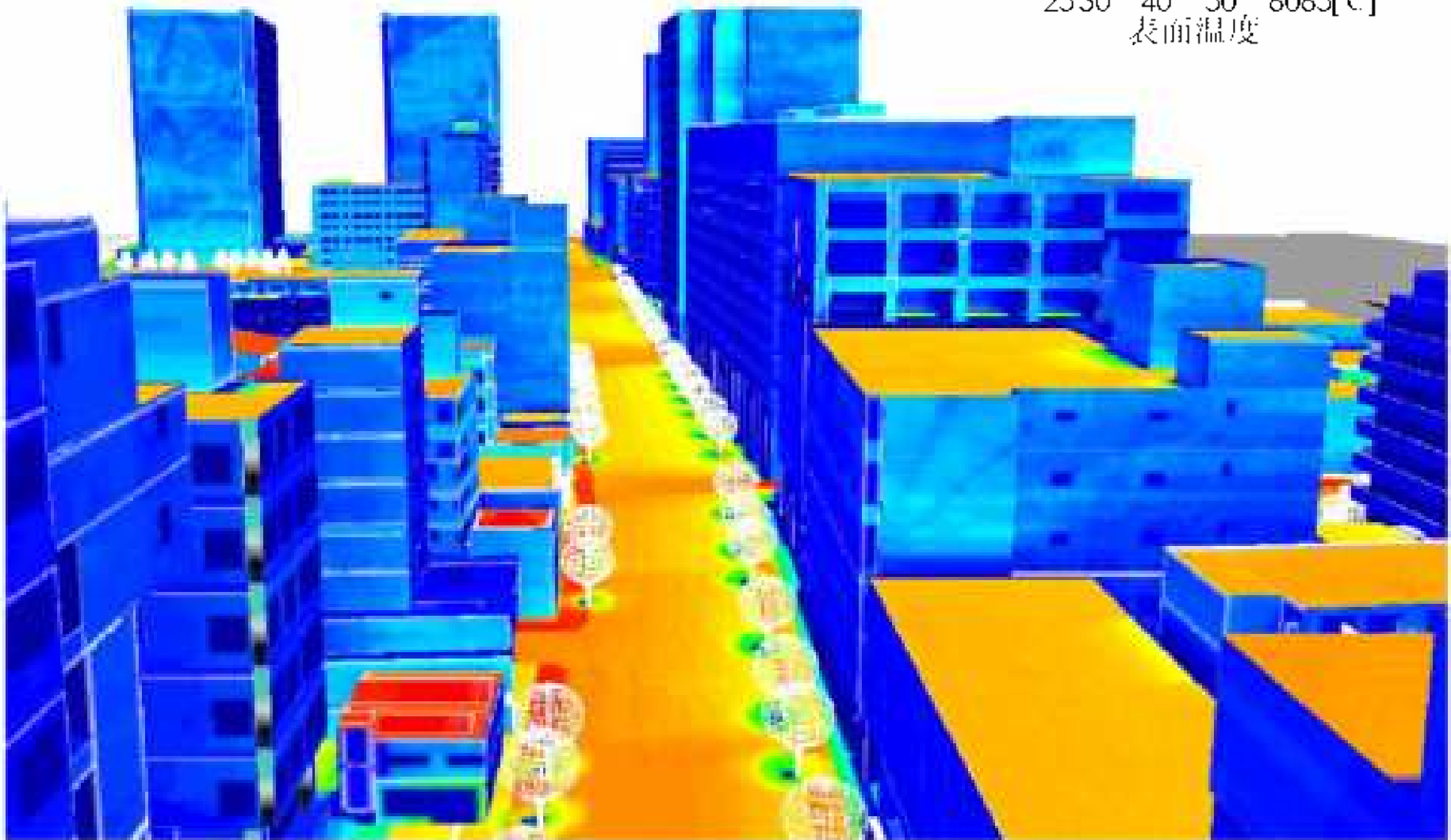
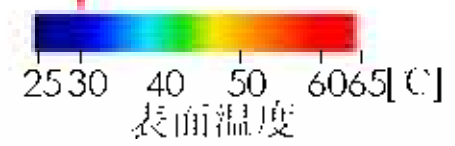
気温: 32.3°C 夏季晴天日



無断使用禁止

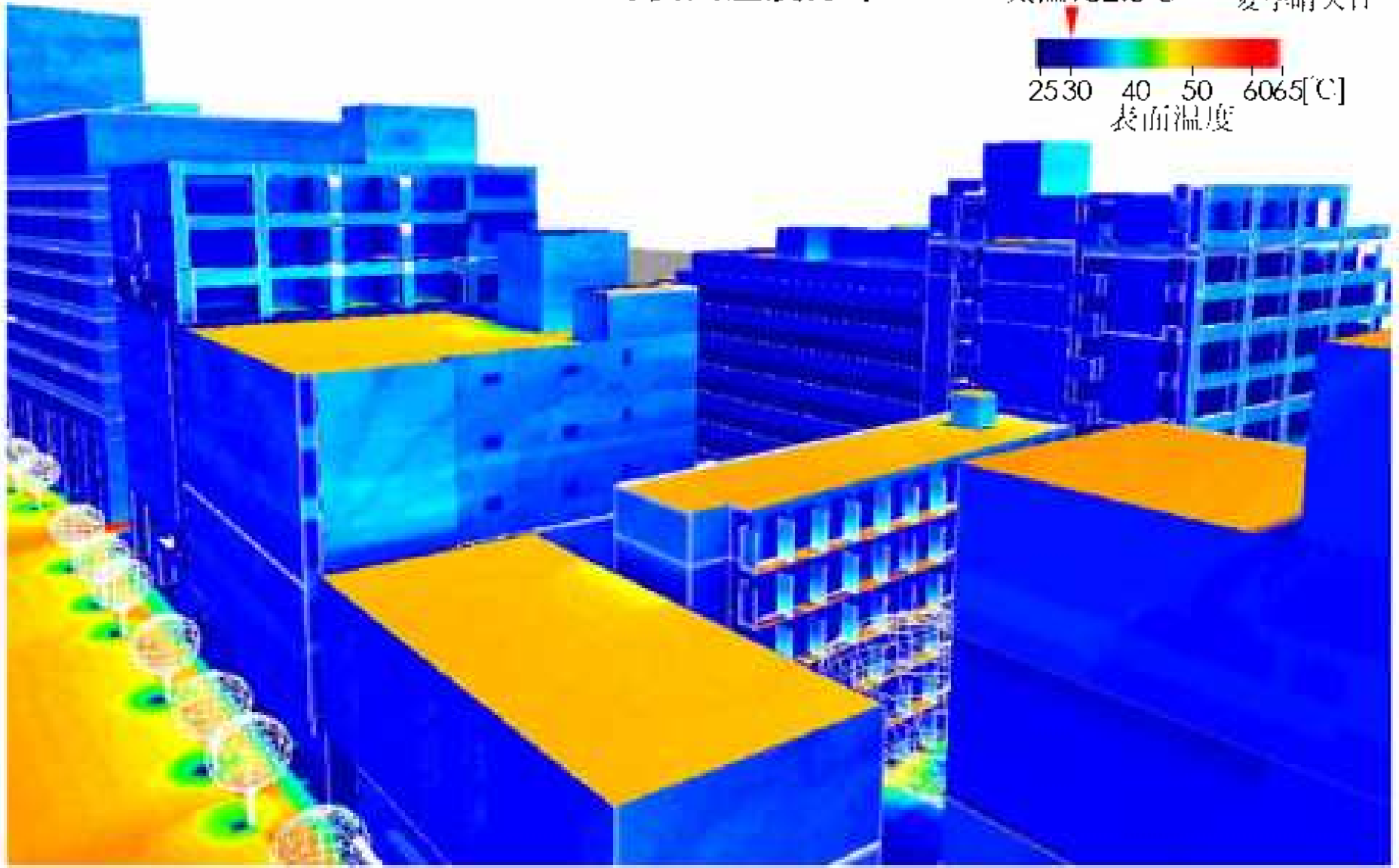
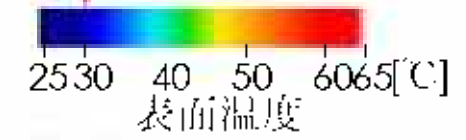
12時表面温度分布

气温: 32.3℃ 夏季晴天日



12時表面温度分布

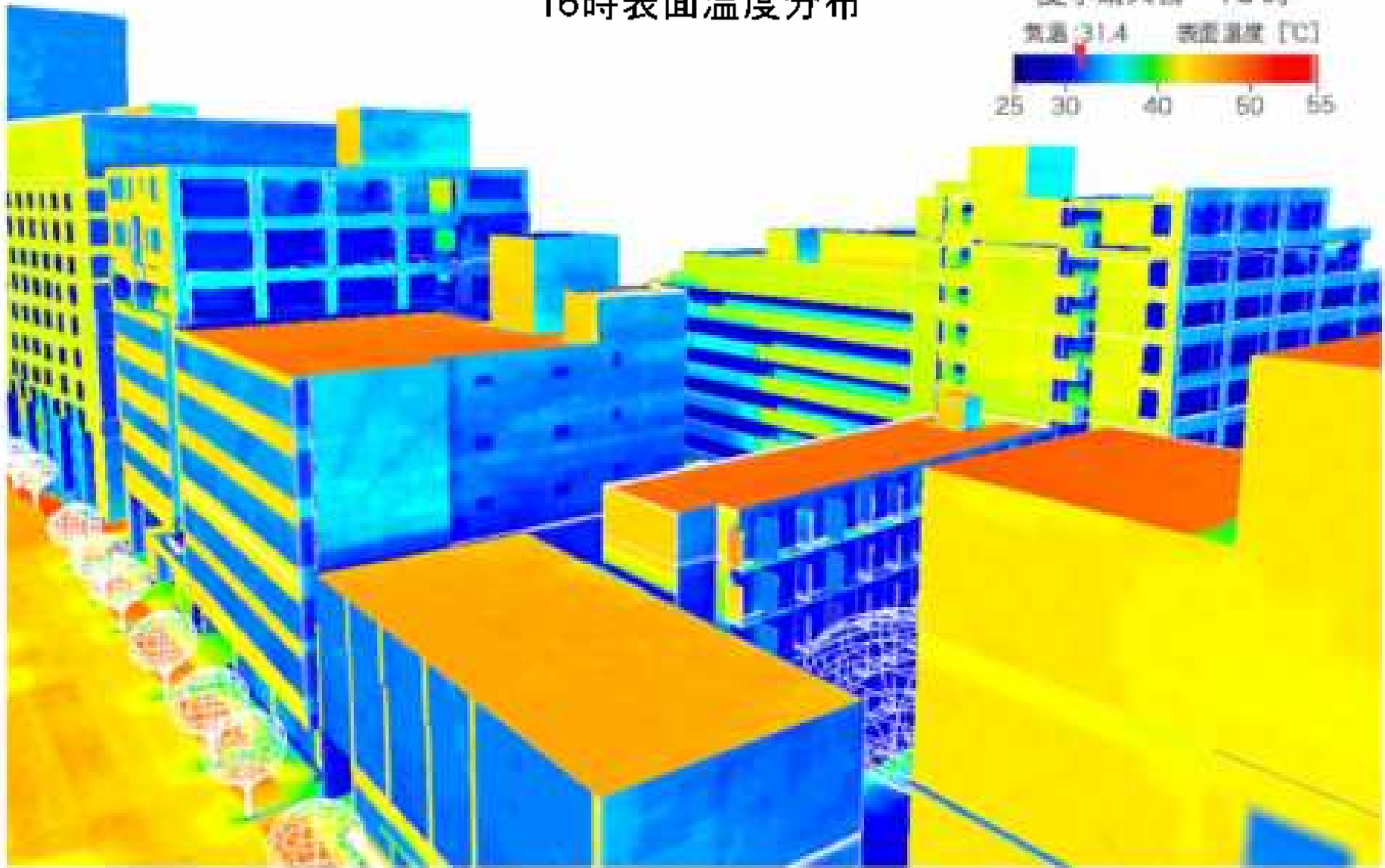
气温: 32.3°C 夏季晴天日



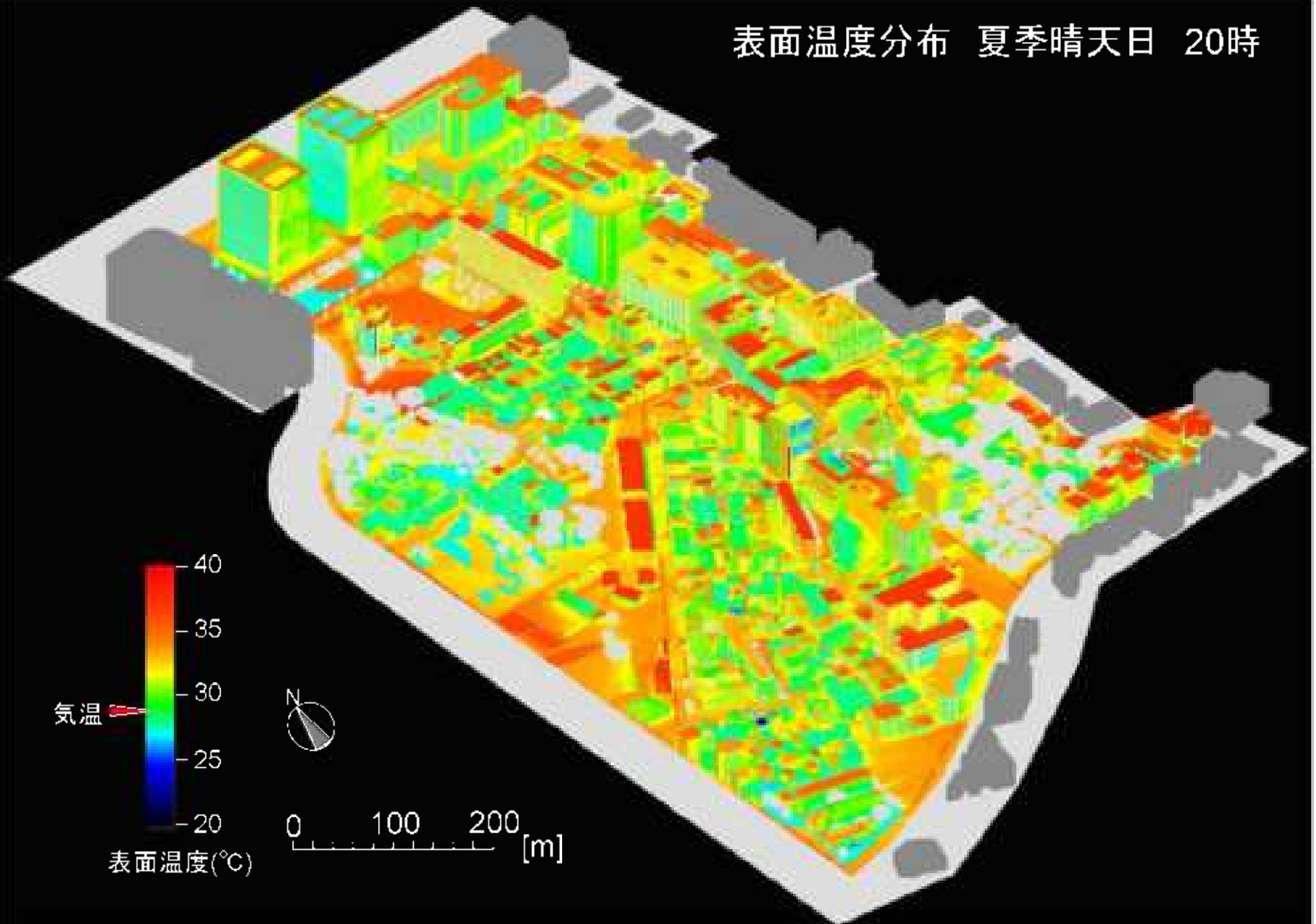
16時表面温度分布

夏季晴天日 16時

気温 31.4 表面温度 [C]



表面温度分布 夏季晴天日 20時



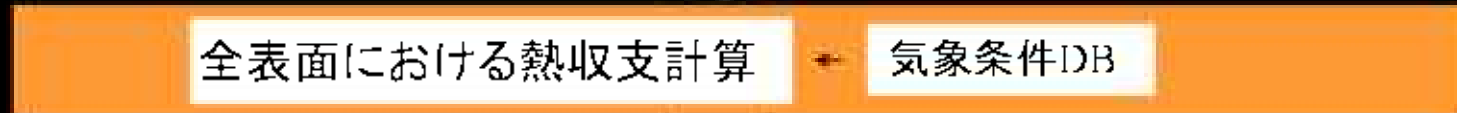
無断使用禁止

シミュレーションツールの構成

INPUT 3D-CAD



SOLVER



OUTPUT

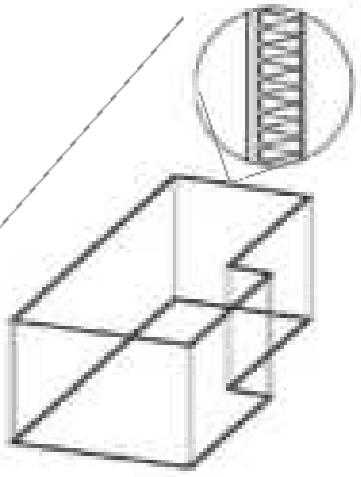
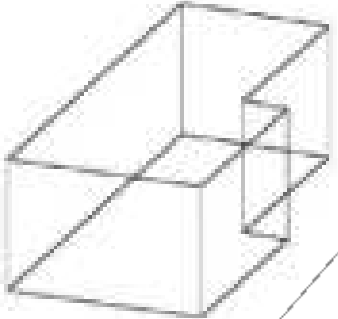


3D-CADソフトウェアを用いたプリ・ポスト処理

The screenshot shows a 3D-CAD software interface. On the left, a 3D model of a building is displayed on a grid. Below it, the text '<CADモデル>' is visible. On the right, a technical drawing window is open, showing a wireframe of the building's structure. A callout box highlights a specific detail of the wall or roof structure, showing a cross-section with a brick-like pattern. Below this, a table lists materials and their thicknesses. To the right of the table, a vertical list of options is shown, including '断面・コンクリート (150mm)', '断面・コンクリート (200mm)', '断面・スレート', '断面・ガルバリウム', '断面・アルミパネル', '断面・ガラス', '断面・ステンレス', '断面・銅', '断面・アルミパネル (200mm)', '断面・アルミパネル (300mm)', '断面・チタン', '断面・コルコライト', and '断面・金'.

①壁や屋根の描画

単線・柱状体による描画



断面仕様などを含めた詳細な描画

②断面の仕様の選択

断面・材料の追加も可能

	材料	厚さ
1	コンクリート	150mm
2	コンクリート	200mm
3	ガラスパネル	7mm
4	鋼造用合板	12mm

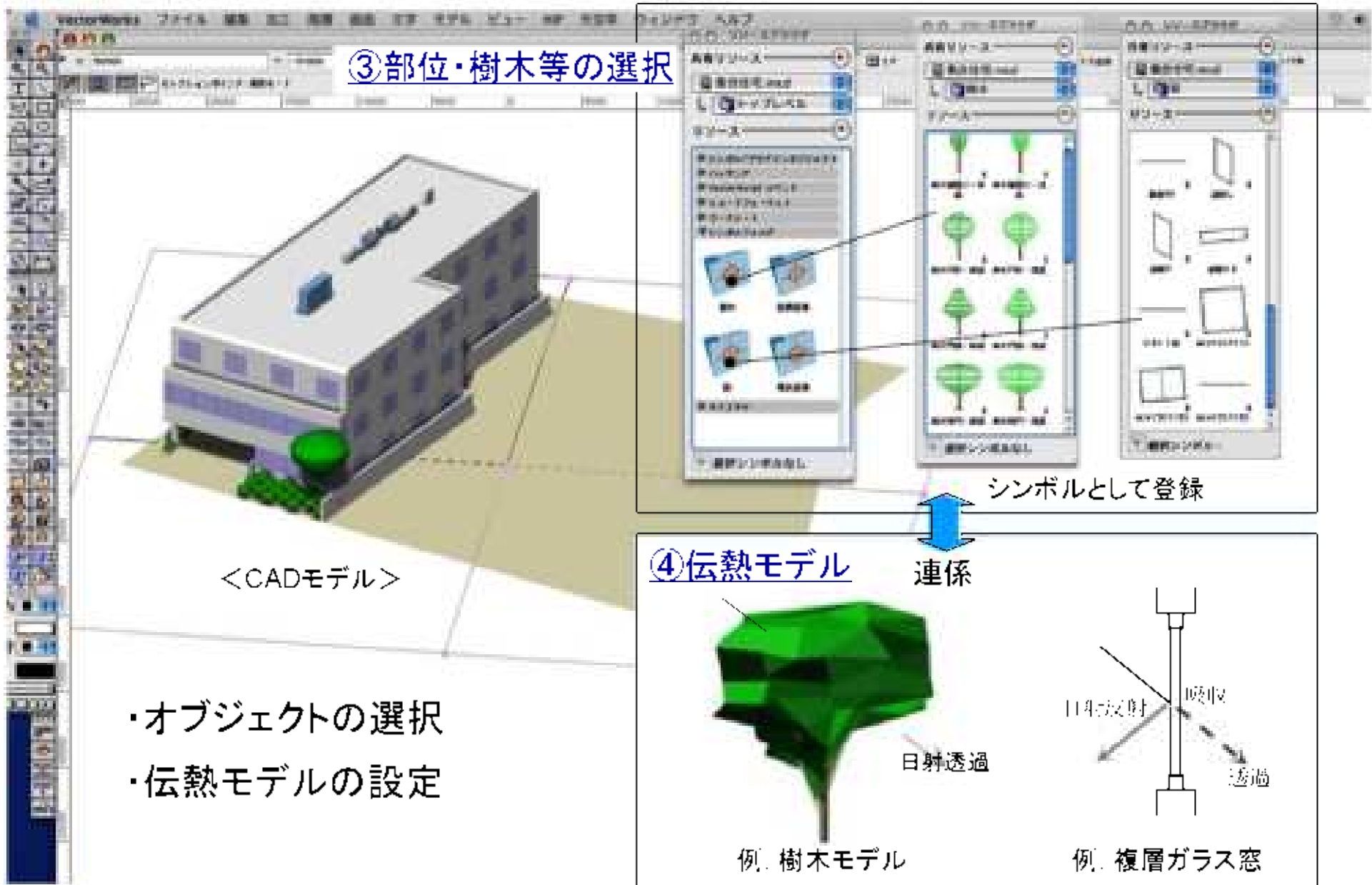


- ・オブジェクトにより形状を描画
- ・断面構成・材料を選択

無断使用禁止

3D-CADソフトウェアを用いたプリ・ポスト処理

③ 部位・樹木等の選択



③ 部位・樹木等の選択

<CADモデル>

- ・オブジェクトの選択
- ・伝熱モデルの設定

シンボルとして登録

④ 伝熱モデル

関係

例. 樹木モデル

例. 複層ガラス窓

日射透過

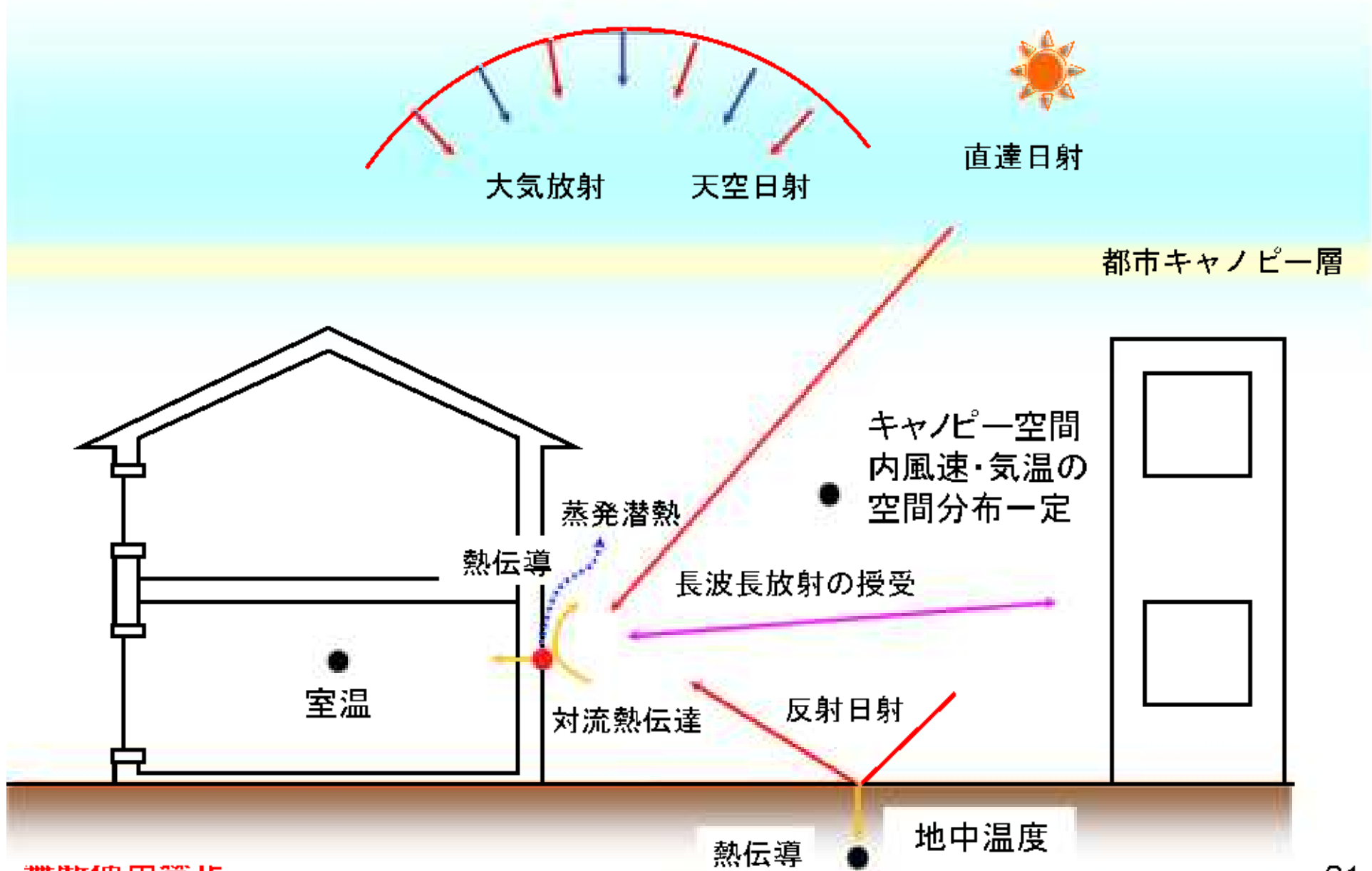
日射反射

吸収

透過

The image shows a 3D-CAD software interface. On the left is a 3D model of a building with a green tree in front. On the right are three vertical property panels. The middle panel shows a grid of tree symbols. A blue double-headed arrow labeled '関係' (Relationship) connects the tree symbols to a 3D tree model below. To the right of the tree model is a diagram of a double-pane window with arrows indicating '日射透過' (Solar radiation transmission), '日射反射' (Solar radiation reflection), '吸収' (Absorption), and '透過' (Transmission). Below the tree model is the text '例. 樹木モデル' (Example: Tree model) and below the window diagram is '例. 複層ガラス窓' (Example: Double-pane glass window). A blue arrow labeled 'シンボルとして登録' (Register as symbol) points from the tree symbols to the tree model. A list of actions is shown on the left: '・オブジェクトの選択' (Object selection) and '・伝熱モデルの設定' (Thermal model setting). The title '④ 伝熱モデル' (Thermal model) is at the top of the bottom section, and '関係' (Relationship) is between the tree symbols and the tree model.

各メッシュ(質点)における熱収支計算項目



禁断使用禁止

各質点における熱収支計算基本式

$$- \lambda \frac{\partial T}{\partial x} = a_{su} \left(\cos \theta \cdot I_{DR} + \Phi_{sky} I_{SR} + I_{RR} \right)$$

伝導熱量

受熱日射量(直達、天空、周囲からの反射)

$$+ \varepsilon_s \Phi_{sky} \sigma T_a^4 \left(a + b \sqrt{e} \right) + \varepsilon_s \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \Phi_i \sigma T_{si}^4 - \varepsilon_s \sigma T_s^4$$

大気放射量

周辺地物との長波長放射の授受量

$$+ \alpha_c (T_a - T_s) + \beta k (X_s - X_a)$$

対流熱伝達量

蒸発潜熱項

q: 熱伝導率 [W/m²]

T: 温度 [K]

a_{su}: 日射吸収率

θ: 質点の面に対する直達日射入射角 [rad]

I_{DR}: 直達日射量 [W/m²]

Φ: 形態係数 [sky: 天空率]

I_{SR}: 天空日射量 [W/m²]

I_{RR}: 周辺地物からの反射日射量 [W/m²]

ε: 長波長放射率

σ: ステファンホルツマン定数 [W/m²K⁴]

a, b: Brunt式における定

e: 地表面付近の水上気圧 [Pa]

α_c: 対流熱伝達率 [W/m²K]

S(下付文字): 表面

a(下付文字): 空気

n(下付文字): 長波長放射の授受を計算する周辺地物の数

i(下付文字): 長波長放射の授受を計算する周辺地物の数

β: 蒸発効率

k: 物質移動係数 [kg/(m²·s(kg/kg[']))]

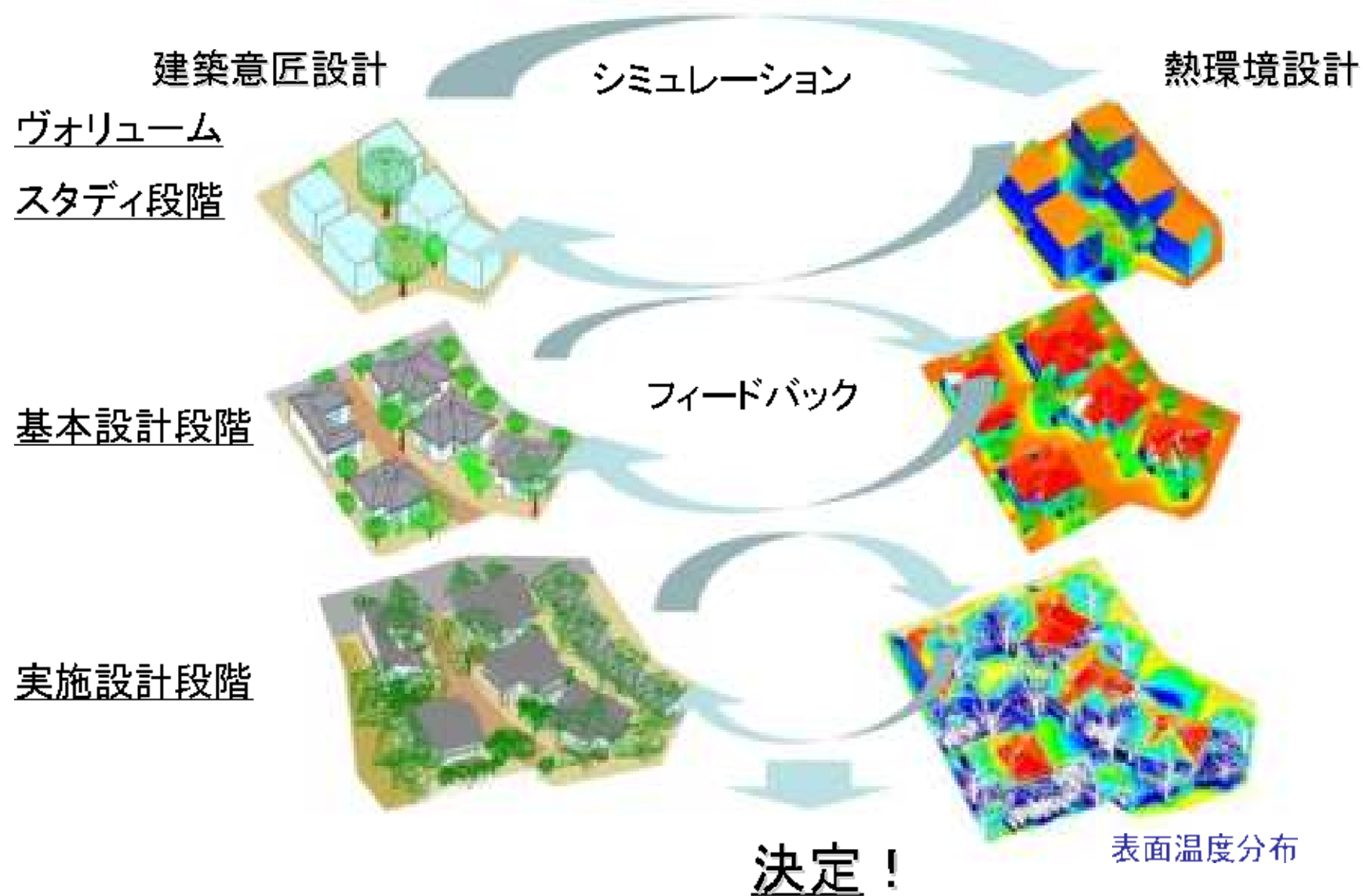
X_a: 絶対湿度 [kg/kg[']]

X_s: 表面温度 T_s の飽和絶対湿度 [kg/kg[']]

3D-CAD をプリ・ポストプロセッサとした 全表面熱収支シミュレーション

1. デザインと同時に熱環境を評価できるシステム
2. 熱環境の定量的な予測・評価
3. 設計者・クライアントが容易に熱環境を
評価できる視覚表現

シミュレーションツールを用いた設計支援方法



これからの環境設計に必要な視点

地域性

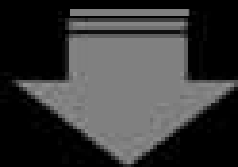
敷地の持つ自然のポテンシャルを生かした設計
～その地域の気候 敷地の地勢 周辺の微気候～

空間

従来のデザイン、空間構成といった視点だけでなく、熱や風など様々な環境の変化を考慮に入れた空間の設計

材料

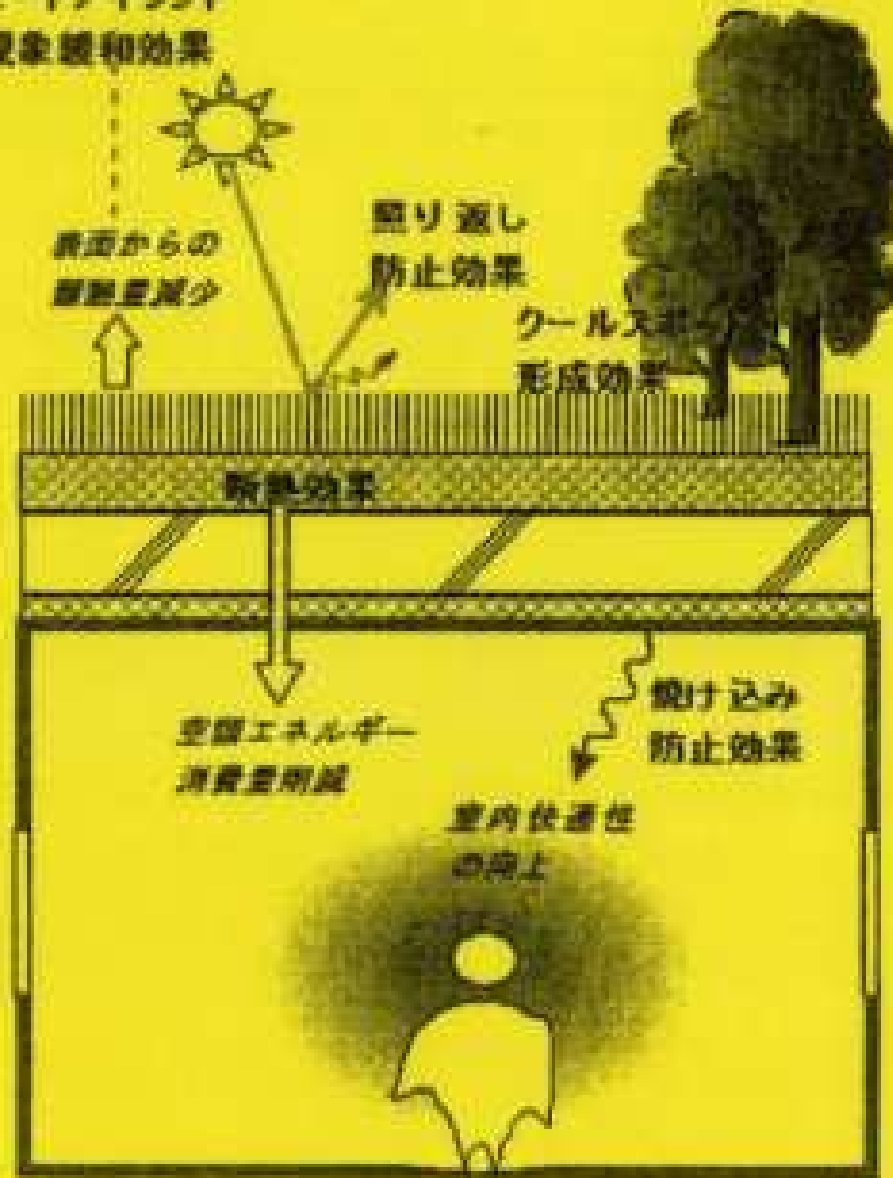
熱環境の視点から表面を覆う材料の選択、また屋上緑化などの熱環境改善手法の導入



環境配慮 快適な生活空間 住まい方の創造

無斷使用禁止

ヒートアイランド
現象緩和効果



1. 対象地域の気象条件

外気温、速度、
日射量、雲量、
風速、降水量、

2. 屋上植栽

植栽層（樹木、草木、地被植物、パーゴラ）
盛土層（材質、厚さ）
排水層（有無、材質、厚さ）
防水層（有無、材質、厚さ）

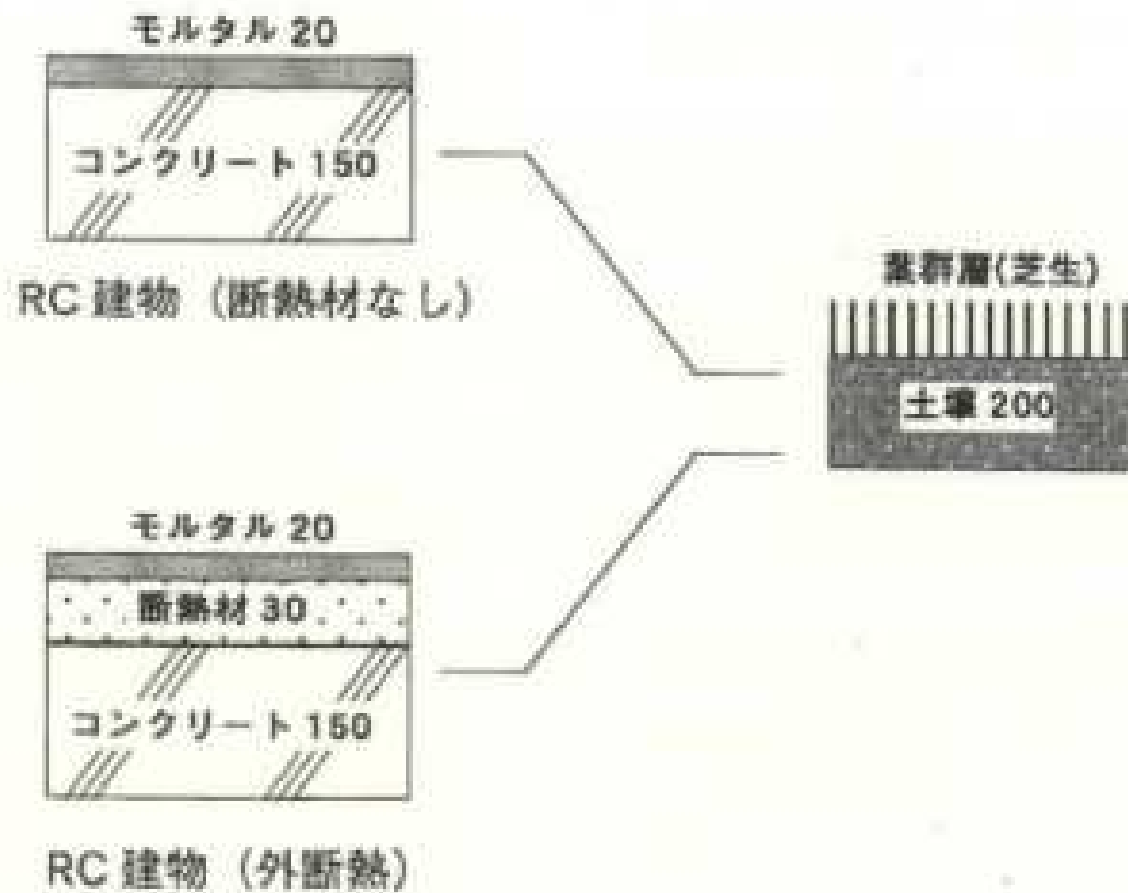
3. 建物の条件

躯体（材料）
断熱材（内・外面熱、厚さ）
屋根裏（有無、厚さ、換気の有無）

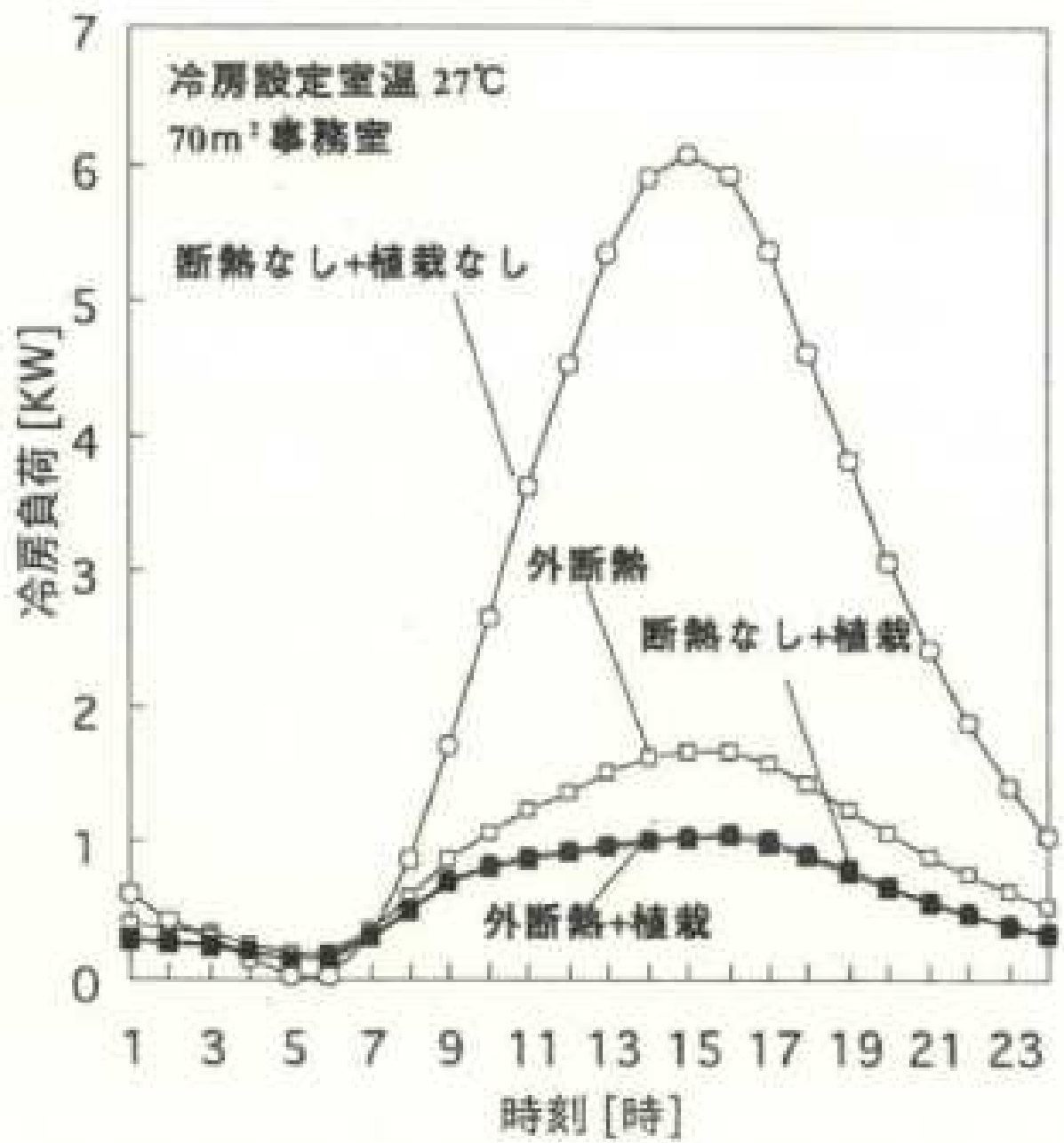
4. 空調の条件

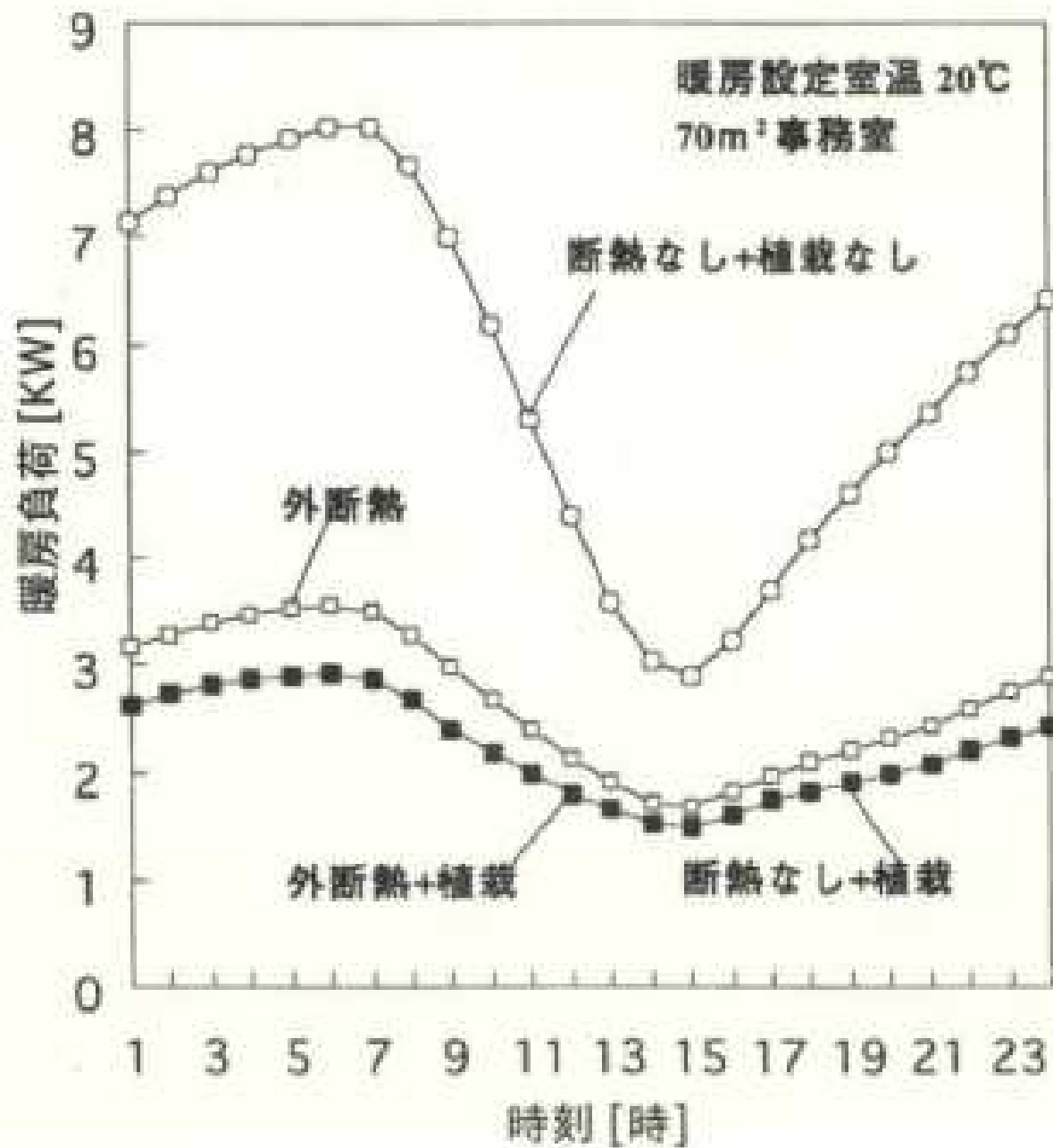
空調の有無
室温

無断使用禁止

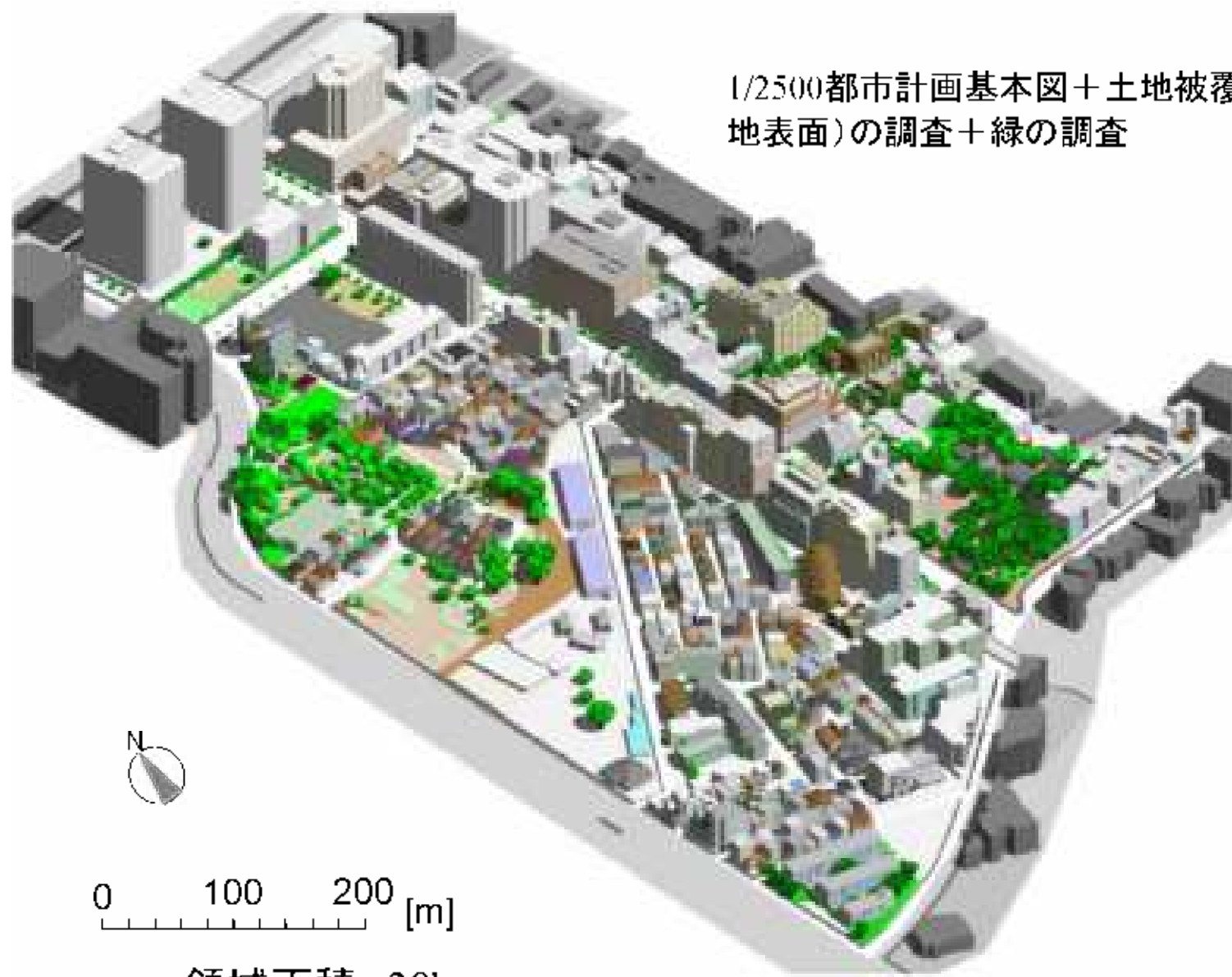


屋根の断熱の有無と屋上植栽の組み合わせ





1/2500都市計画基本図+土地被覆(建物、
地表面)の調査+緑の調査

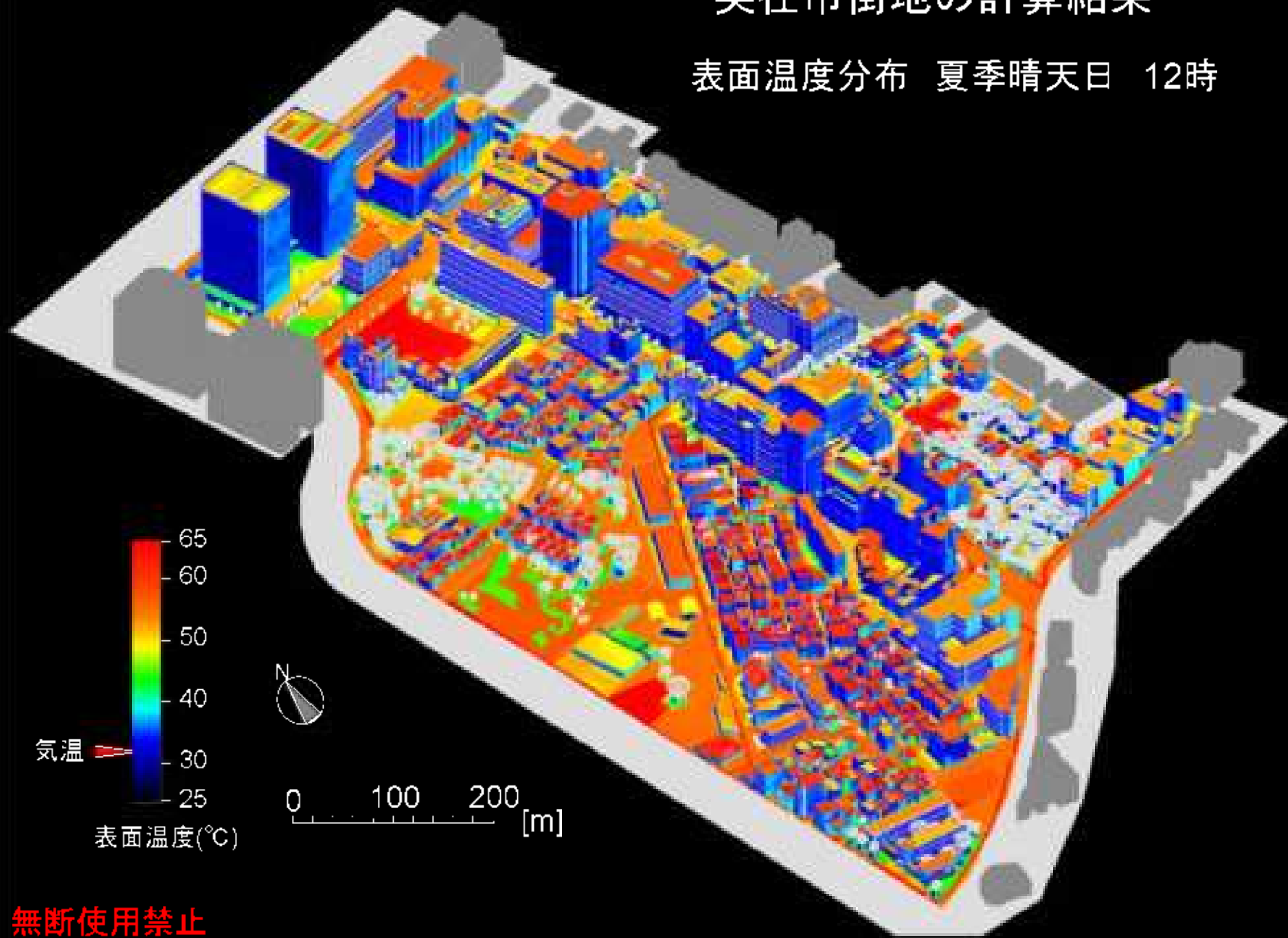


0 100 200 [m]

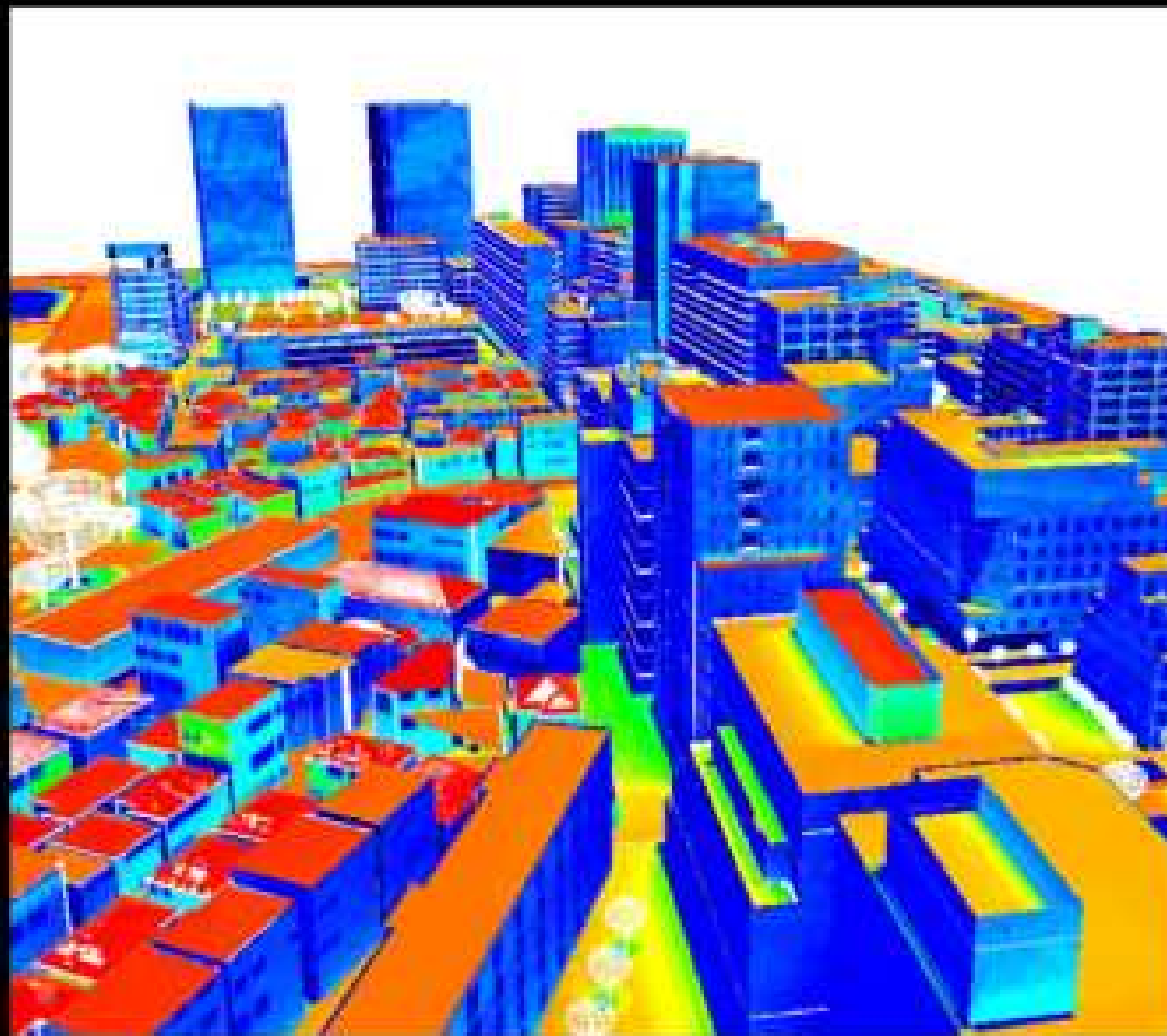
領域面積 28ha

実在市街地の計算結果

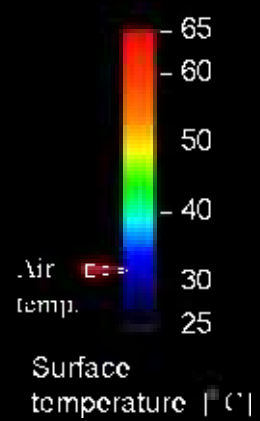
表面温度分布 夏季晴天日 12時



無断使用禁止

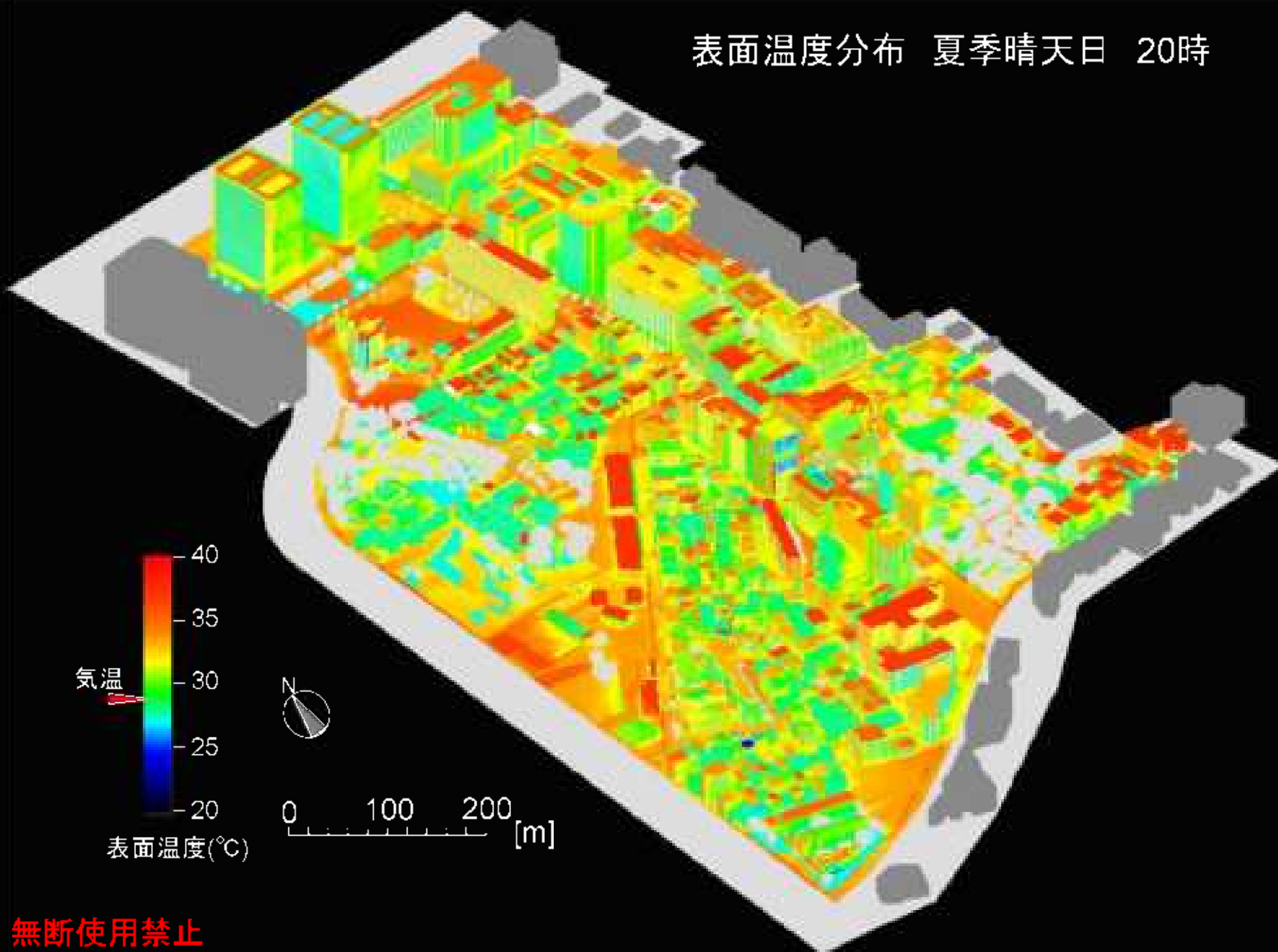


12:00

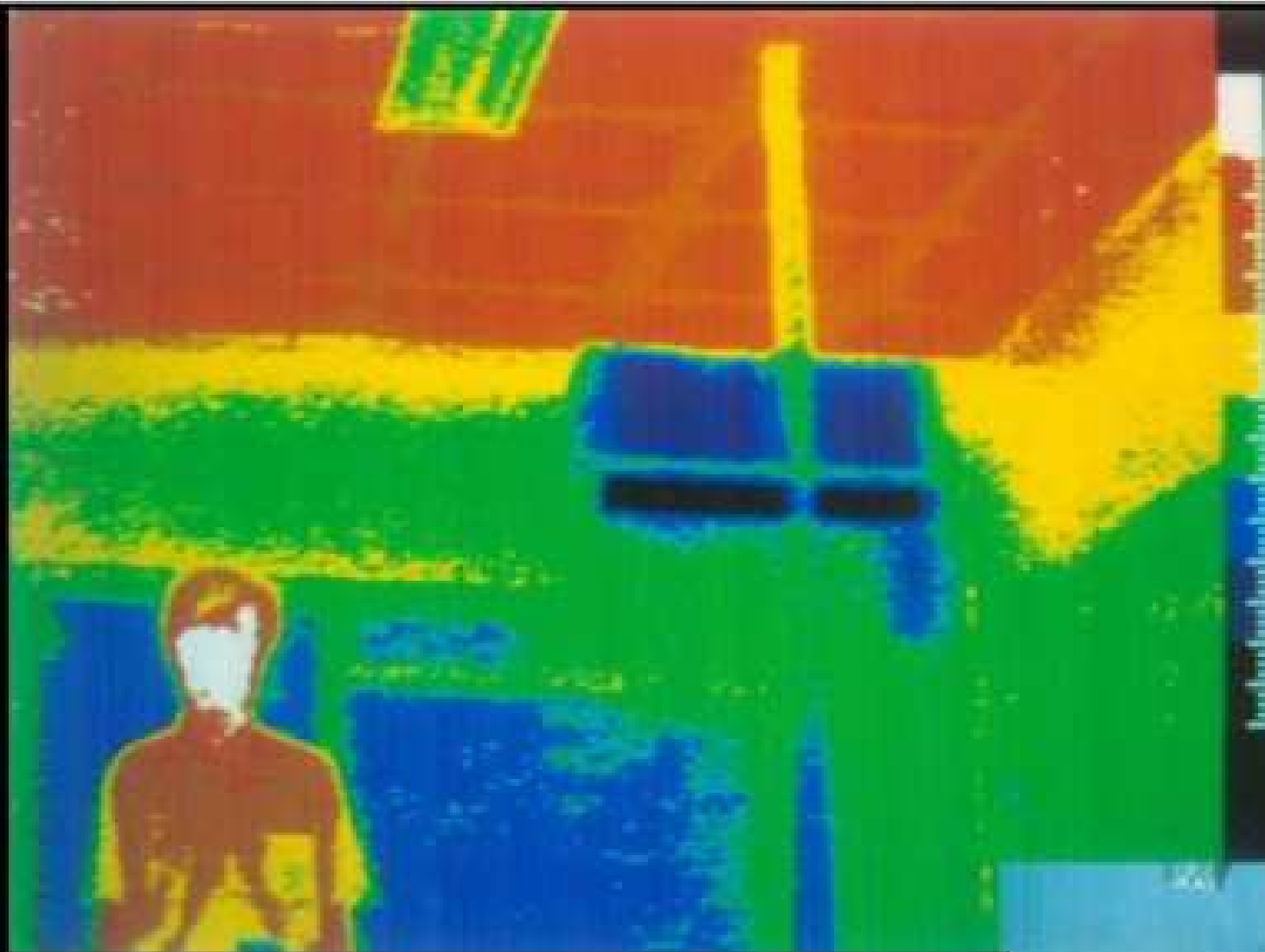


無断使用禁止

表面温度分布 夏季晴天日 20時



無断使用禁止

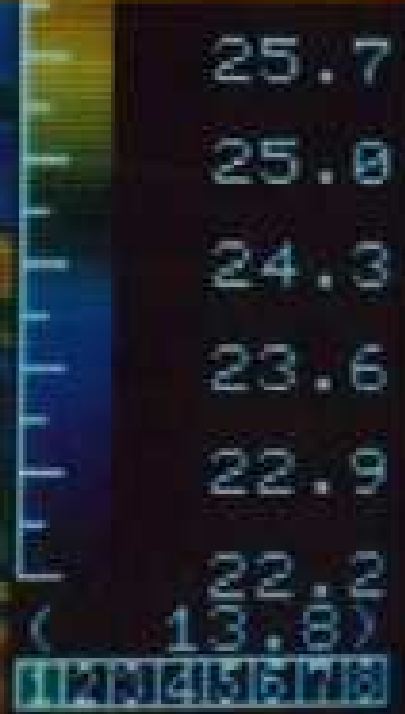
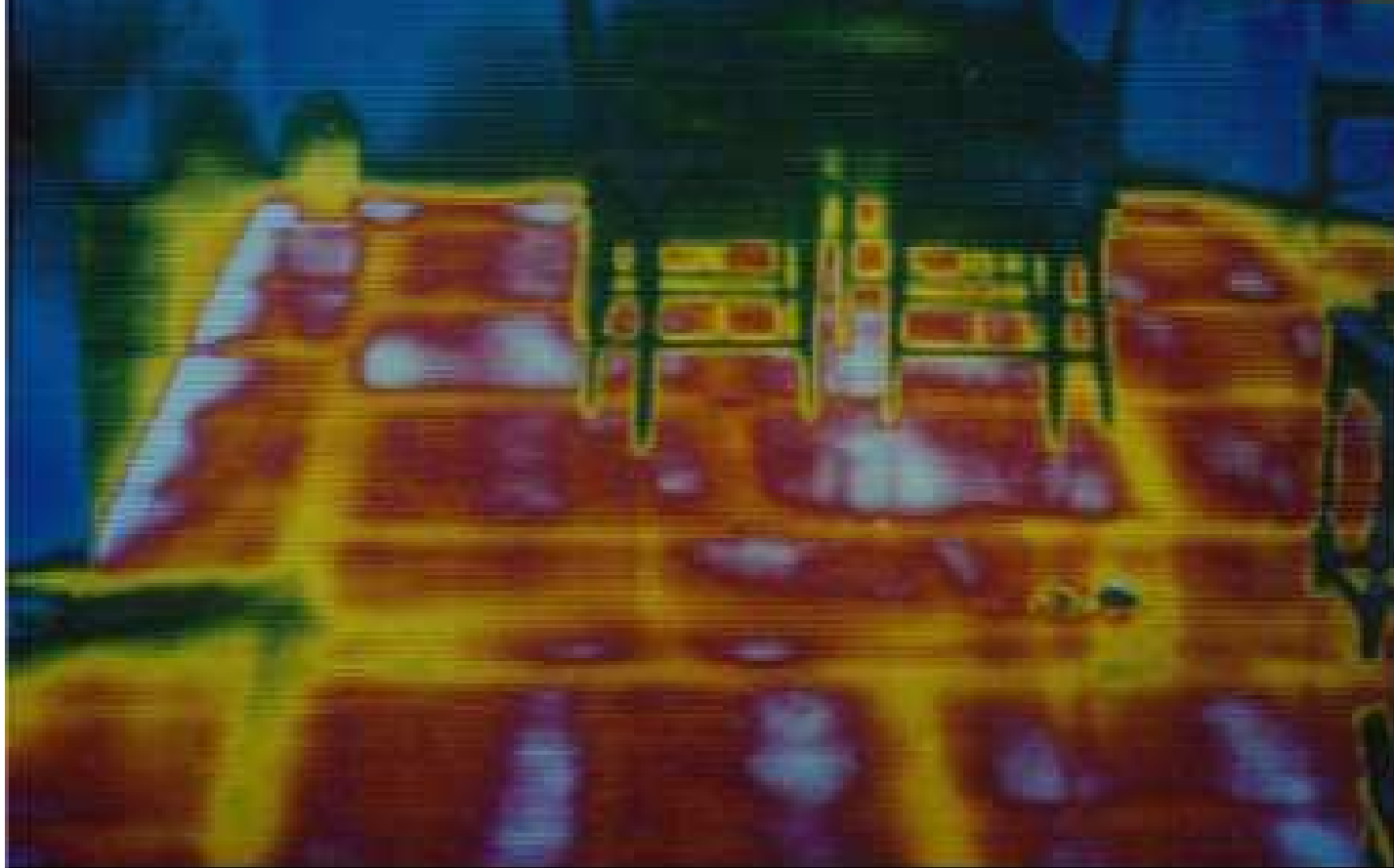


36	0
35	0
34	0
33	0
32	0
31	0
30	0
29	0
28	0



無断使用禁止

R:1 E:1.00 F:SNΣ16 S:0.7° L:25.0



無断使用禁止

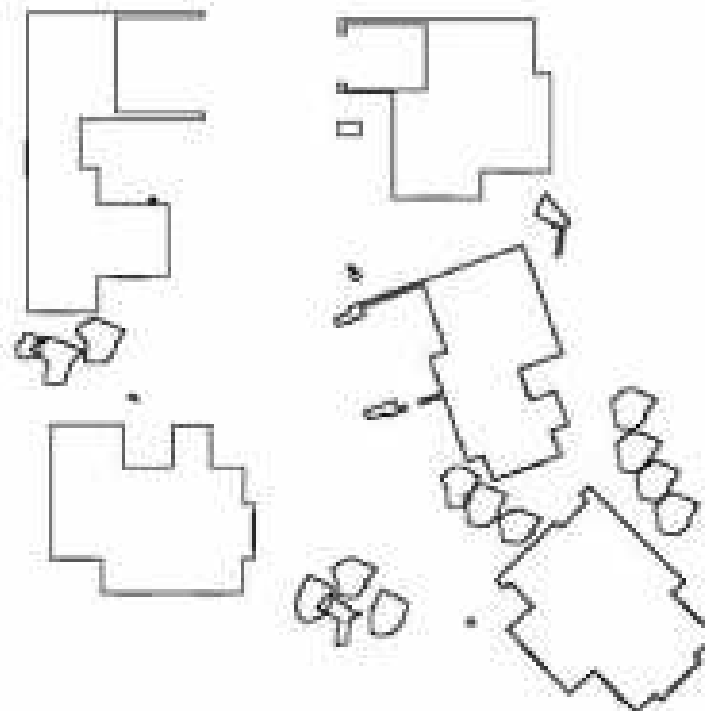
質点メッシュモデルの生成

3D-CAD図面



水平方向に図形を切断する

切断面 (2次元)



すべての高さで自動実行

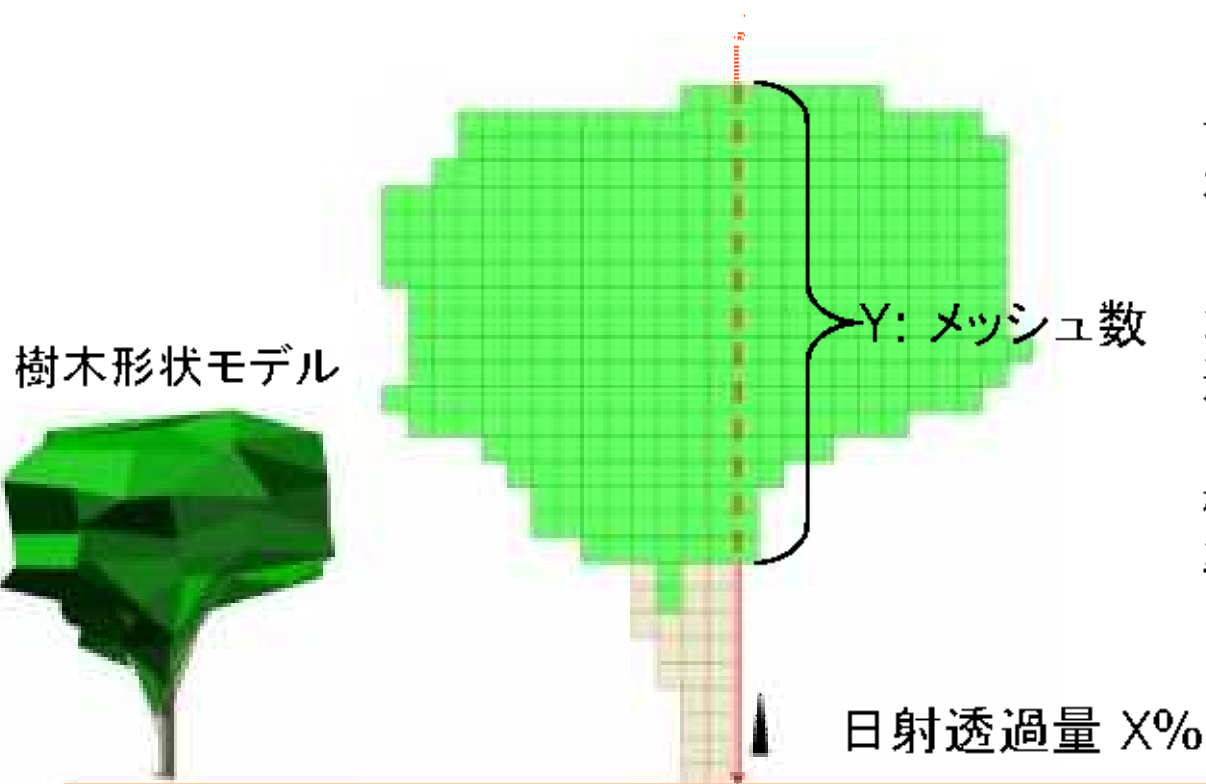
切断面の2次元形状からメッシュ化

各メッシュに伝熱計算に必要な情報が格納され、質点メッシュモデルが生成される

無断使用禁止

樹木の日射透過計算

直達日射量 100%



形状は3D-CADにより、外形を面の集合体で覆いモデル化し、メッシュ化する。

単位メッシュあたりの日射透過率を設定する。



光線の透過距離により日射透過量が異なる。

樹冠内の葉密度分布(日射透過率)は現状では一様としている。(幹は透過率ゼロ)

単位メッシュあたりの日射透過率：
$$\tau = \sqrt{X / 100}$$

無断使用禁止

顕熱と潜熱の違い

顕熱

物質の温度変化だけに消費される熱



潜熱

物質の温度を変えずに相変化だけに消費される熱

顕熱輸送量

$$H = \alpha_c (T_s - T_a)$$

α_c : 対流熱伝達率[W/m²K]

T_s : 舗装表面温度[K]

T_a : 大気の温度[K]

潜熱輸送量

$$l E = k_x \cdot (X_{\text{sat}}(T_s) - X_a)$$

k_x : 絶対湿度基準物質移動係数[W/m² (kg/kg)]

$X_s(T_s)$: 舗装表面温度に対する飽和絶対湿度[kg/kg]

X_a : 空気の絶対湿度[kg/kg]

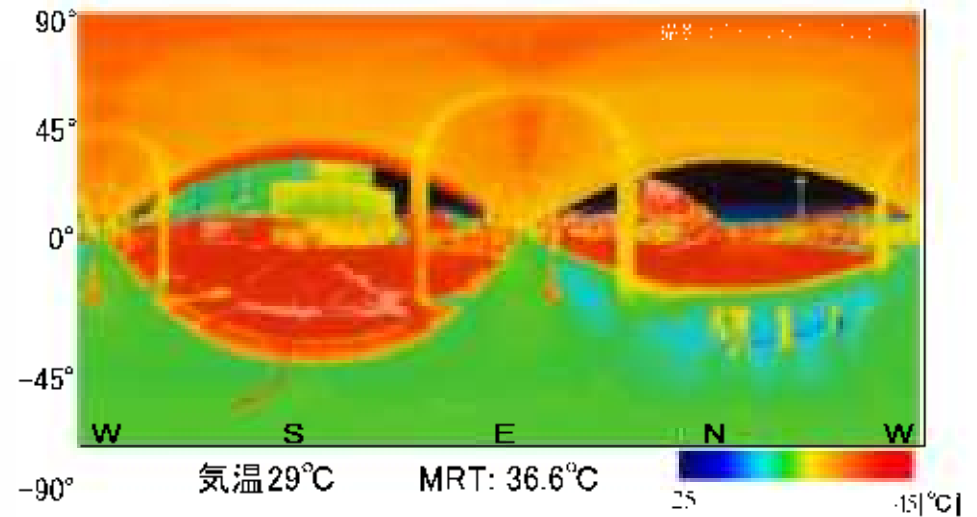
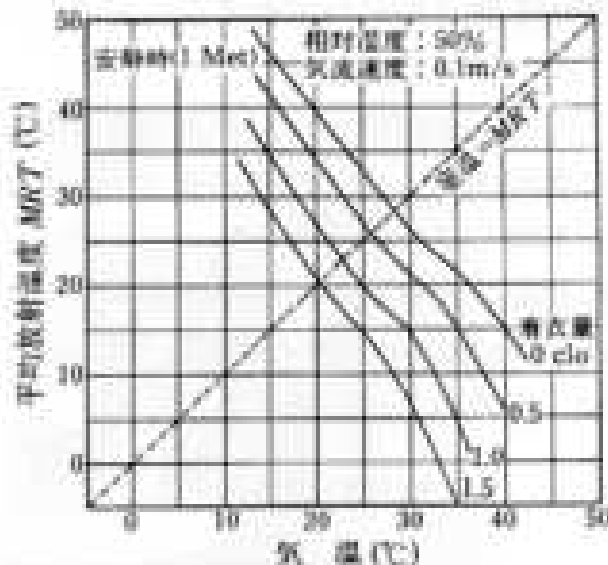
熱放射環境の評価指標：平均放射温度(MRT)

MRT : Mean Radiant Temperature

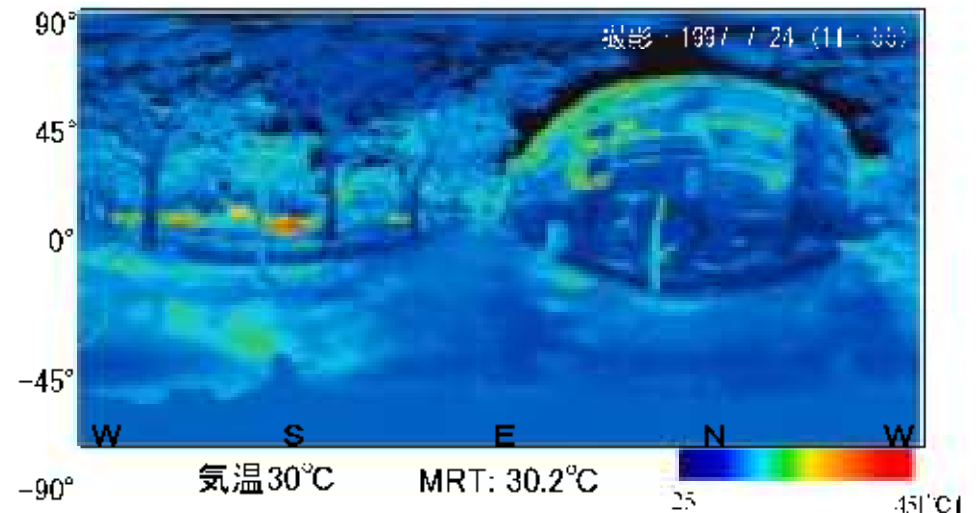
$$MRT [^{\circ}C] = \sqrt[4]{F_1 \cdot T_{s_1}^4 + F_2 \cdot T_{s_2}^4 + \dots + F_n \cdot T_{s_n}^4} - 273$$

ある位置から微少面
への形態係数

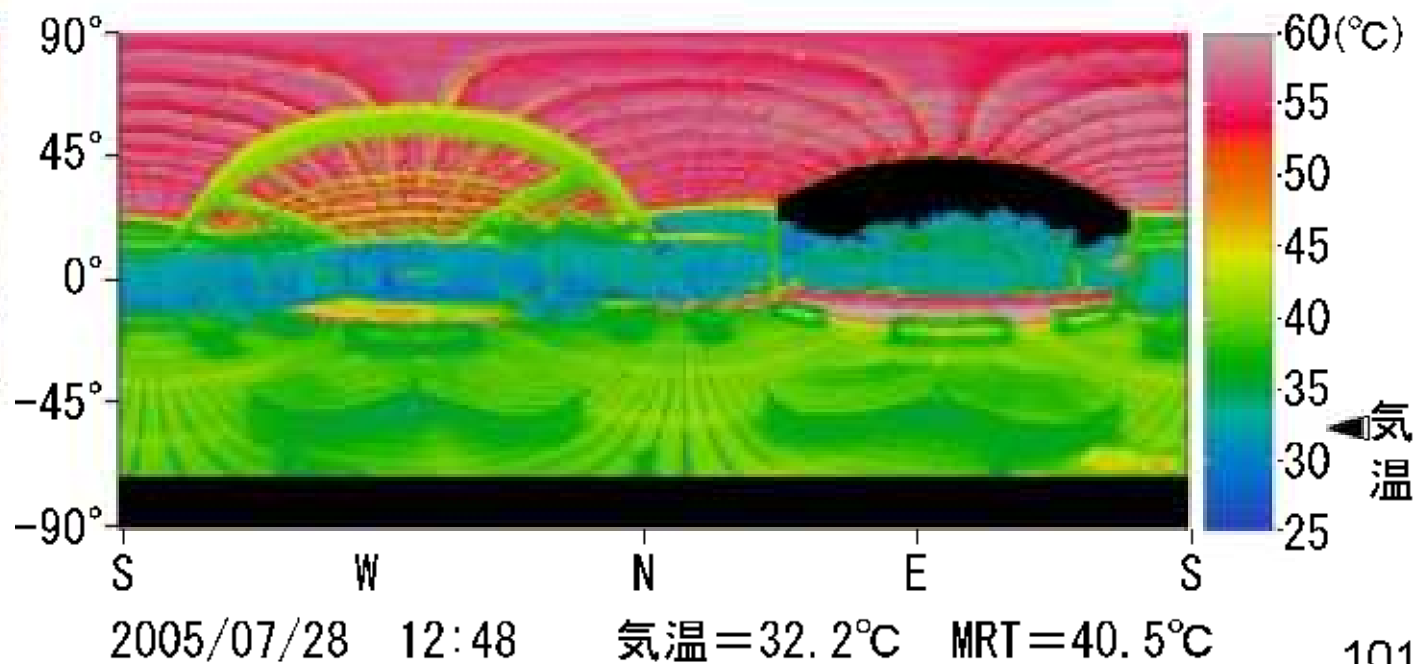
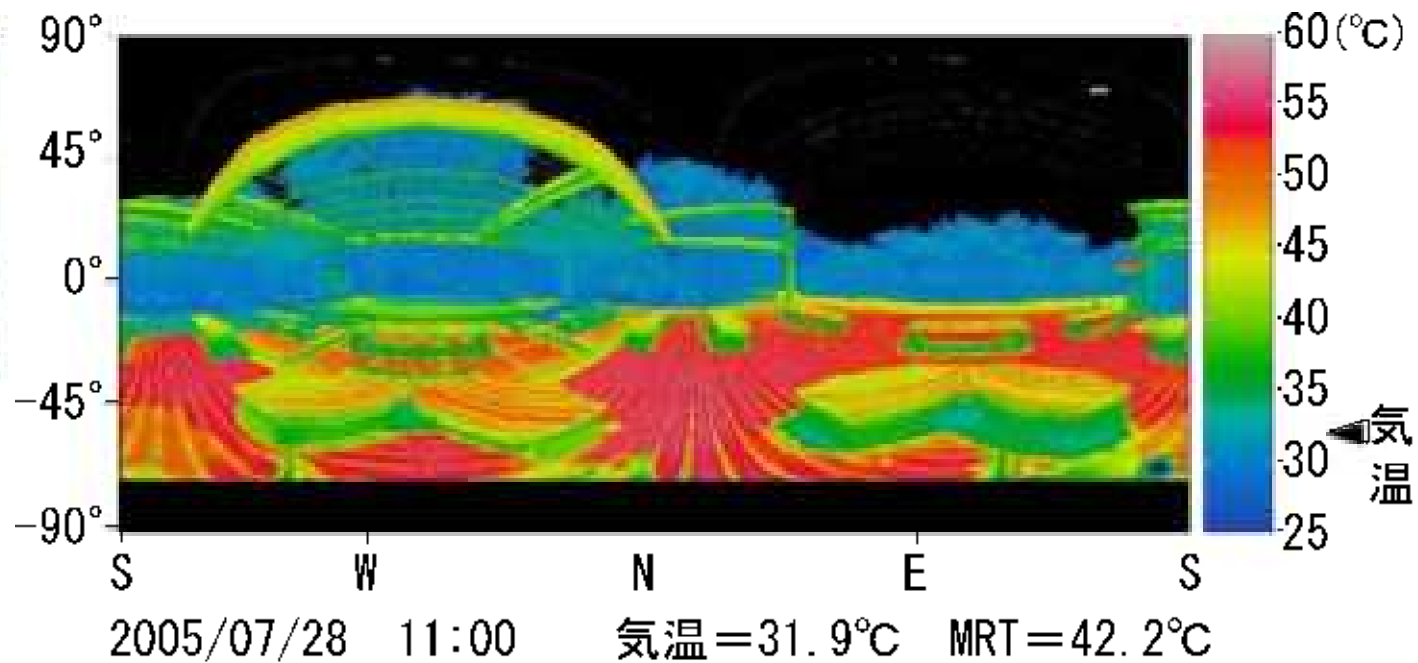
微少面の表面温度(K)



人工の天蓋に覆われた通路（東京都八王子市：南大沢駅前）



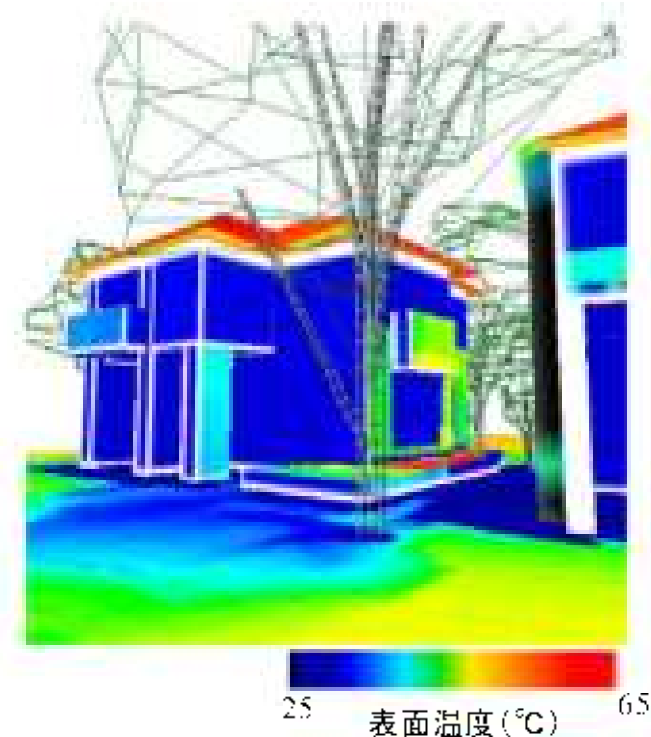
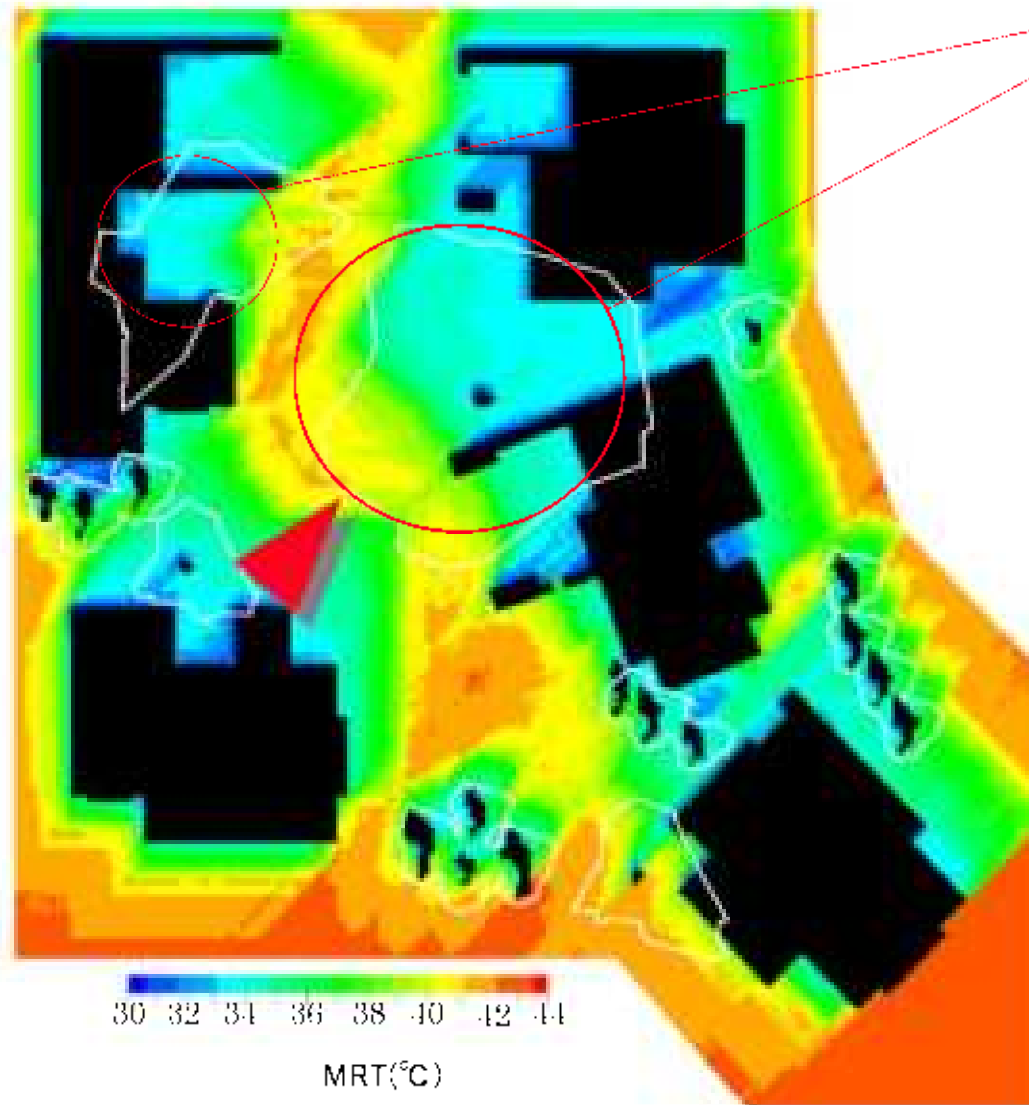
大きな樹冠の街路樹に覆われた街路（東京都渋谷区：表参道）



無断使用禁止

屋外生活環境の快適性

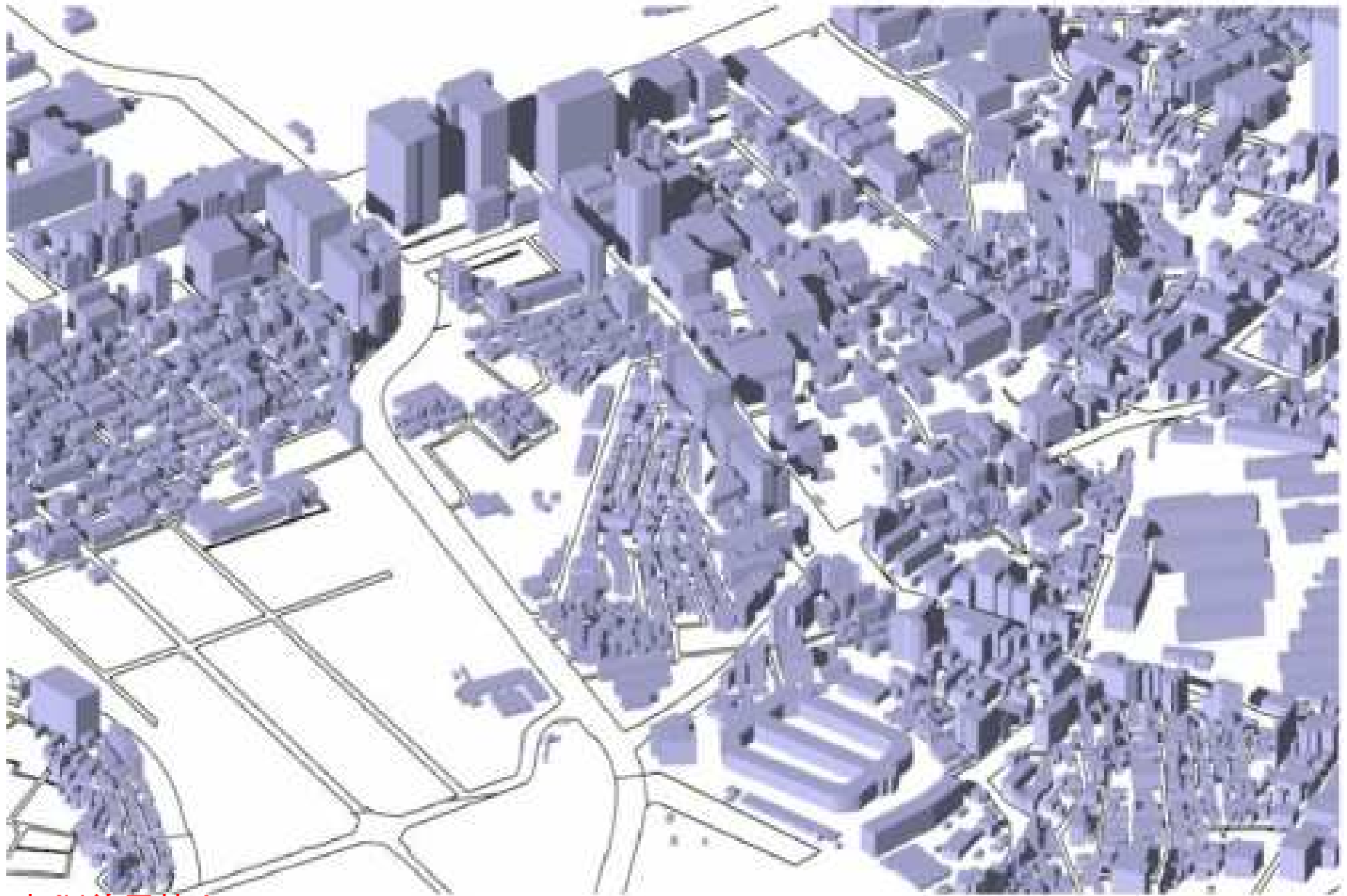
高木の樹冠下には
良好な熱放射環境
が形成されている



高木樹冠下の表面温度分布

居住域高さにおける平均放射温度 (MRT) 分布
無断使用禁止

1/2500都市計画基本図を基にした都市の再現



無断使用禁止

3D-CADによる都市の再現

1/2500都市計画基本図+土地被覆(建物, 地表面)の調査+緑の調査



無断使用禁止