

E-0808 低炭素社会の理想都市実現に向けた研究

(5) 低炭素社会における建築・都市・市民生活のエネルギー評価

東京工業大学大学院総合理工学研究科
東京工業大学大学院総合理工学研究科
〈研究協力者〉
東京工業大学大学院総合理工学研究科

梅干野晁
浅輪貴史
佐藤理人

平成20～22年度累計予算額：26,714千円（うち、平成22年度予算額 8,367千円）
予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 2050年の低炭素社会の実現に向けては、まちづくりが行われる街区スケールで、立地・気候特性、建築外部空間、建物性能、建物設備、居住者の住まい方といった要素を包括的に取り扱い、環境負荷の抑制と快適な生活空間を定量的に予測・評価していくことが重要である。またまちづくりに携わる市民や行政担当者、開発事業者等が、上記の予測・評価結果や関連する土地利用・土地被覆等の環境情報についてコミュニケーションできるように、視覚的にわかりやすく提示することが不可欠である。そこでサブテーマ5では、下記に示す2つのツールを開発した。

①3D-CADによる街区スケールの熱環境・エネルギー・CO₂排出量の予測・評価ツールの開発では、研究参画者らが開発してきた3D-CAD対応熱環境シミュレータに、地域特性や季節、家族類型を考慮した住まい方を反映できるエネルギー消費計算手法を導入した。そして現状と2050年を想定した将来の構成材料・建築設備・住まい方のデータベースを整備して、現状と将来における熱環境・エネルギー・CO₂排出量の予測・評価を可能とした。また②市民等とのコミュニケーションに利用可能な環境情報の可視化ツールの開発では、上記の予測・評価結果や関連する環境情報を、まちづくりの中で比較・議論できる手法を3D-GISを用いて実現した。また都市広域や市街地の土地被覆、表面温度分布等を可視化できる手法として、航空機リモートセンシングデータを取得した。

ケーススタディとして、土浦市中心市街地の土地利用の異なる5街区を対象に、まず中心市街地における現状分析を行った。そして現状の分析結果や市民とのワークショップにおける意見等を参考に他のサブテーマと共同で2050年の将来都市像を提案し、熱環境・エネルギー・CO₂排出量を予測・評価した。この結果から、提案された将来像において、エネルギー消費量・CO₂排出量が50%以上削減されるとともに、ヒートアイランドの抑制と快適な生活空間も実現可能であることを示した。そして他のサブテーマとともに、提案した街区の実現に向けたロードマップを示した。

[キーワード] CO₂、熱環境、3D-CAD、数値解析、実在街区

1. はじめに

低炭素社会への移行が今後のまちづくりにおける重要な課題として挙げられている。しかしながら、国や市町村による将来に向けたCO₂排出量の削減目標や、CO₂排出量削減のための要素技術

の開発、省エネルギーとなる住まい方の提案は行われているが、その場の立地・気候特性や自然エネルギーを最大限活用することで、エネルギー需要そのものを減らしながら快適な都市生活空間を創出するための取り組みは十分とはいえない。またヒートアイランド現象の顕在化や、高齢化、人口減少が進行する市街地においては、低炭素社会の実現だけではなく、社会的、経済的側面も踏まえながら、環境負荷の抑制や快適な生活空間を創出していくことも重要な課題である。

これまでもBEST¹⁾等の個別の建物のエネルギー消費量を算出できるツールやCASBEE（建築環境総合性能評価システム）²⁾等の総合的に建物や街区の環境負荷を評価するツールは存在するが、'街のデザイン'を考慮して、実際にまちづくりが行われる街区スケールで環境負荷と快適性の双方を予測・評価することは難しかった。また低炭素社会の実現へと導くためには、市民や行政担当者、開発事業者等が、提案されたまちの実現可能性や、現状の問題点を容易に理解でき、相互のコミュニケーションに利用することが可能な環境情報の可視化ツールが不可欠である。

2. 研究目的

サブテーマ5では、図1に示すように、2050年の低炭素社会において、街区スケールで環境負荷の抑制と快適な生活空間を実現するための一般化ツールとして、3D-CADによる街区スケールの熱環境・エネルギー・CO₂排出量の予測・評価手法の開発と市民等とのコミュニケーションに利用可能な環境情報の可視化ツールの開発を行った。サブテーマ5の報告書内ではこれら2つの開発ツールについて記載する。また本ツールを用いて行った土浦市中心市街地5街区と福生市住宅街区を対象としたケーススタディと、航空機リモートセンシングによる土浦市広域と周辺市街地の熱環境に関する現状分析については、サブテーマ3及びサブテーマ4の報告書内に記載する。

(1) 3D-CADによる街区スケールの熱環境・エネルギー・CO₂排出量の予測・評価手法の開発

既存の都市計画マスタープランの中では、まず市町村単位や地区スケールでまちづくりの方向性または目標が示され、具体のまちづくりについては、街区スケールで建物用途等の議論がなされる。しかしながら街区単位で熱環境やエネルギー消費量を評価する際に、熱環境緩和やエネルギー消費抑制に関する対策は、図2に示すように立地・気候特性、建築外構、建物の形状や材料、建築設備、居住者の家族類型や住まい方に応じて様々な対策が存在し、また同じ対策手法を適用

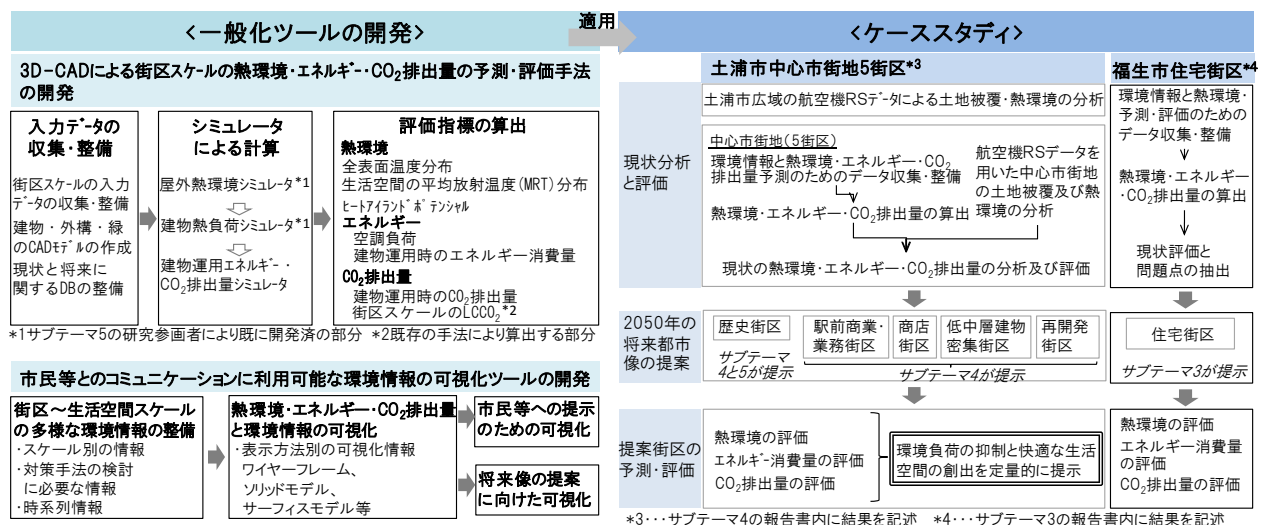


図1 サブテーマ5の研究の全体フレーム

した場合であっても、その効果が異なるため、これまでこれらの要素を包括的に取り扱い、定量的な予測・評価が可能なツールはなかった。しかしながら、今後のまちづくりの中で環境負荷の抑制と快適な生活空間を実現していくためには、多様な対策手法を適用した結果について、熱環境・エネルギー・CO₂排出量を定量的に予測・評価しながら、適切な対策手法を選択していくことが不可欠である。

これまでサブテーマ5の研究参画者らは、3D-CADを用いて街区スケールの全表面温度分布が算出可能な3D-CAD対応屋外熱環境シミュレータ³⁾を開発し、実在街区を対象に大気への顕熱負荷や生活空間の熱的快適性を評価してきた。さらにこのシミュレータを基に樹木等の建築外部空間の影響を考慮できる建物熱負荷シミュレータを開発してきた⁴⁾。そこで本研究では、既存のシミュレータに地域

特性・季節・家族類型別の住まい方を反映できる建物運用エネルギー・CO₂排出量シミュレータを開発する。そして現状と2050年を想定した将来の構成材料・建築設備・住まい方のデータベースを整備することにより、現状と将来の熱環境・エネルギー・CO₂排出量を定量的に予測・評価する。

(2) 市民等とのコミュニケーションに利用可能な環境情報の可視化ツールの開発

街区スケールの熱環境・エネルギー・CO₂排出量を算出した結果や様々な環境情報を、居住者や行政担当者、開発事業者といったまちづくりに携わる人々にも理解しやすい形で提示するためには、実際の形状に近い3D-CADモデルを媒体として環境情報を可視化するツールが有効であると考えられる。しかしながら、3D-CAD上で街区スケールのモデルに対して、レンダリング等の画像処理を行うと、情報量が多くなるため、操作が難しくなる。一方、汎用地理情報システム(GIS)では、街区スケールの3次元モデルであっても高速で画面表示が可能な手法が用いられており、ツール自体も行政等で広く利用されている。そこで本研究では、数値解析による予測・評価結果に加え、汎用GISを用いて多様な街区の特性情報や、対策手法に関する情報といった環境情報を可視化し、同一画面上で参照できる可視化システムを開発する。

3. 研究方法

(1) 3D-CADによる街区スケールの熱環境・エネルギー・CO₂排出量の予測・評価手法の開発

各スケールに応じた対策手法による効果を定量的に示し、現状と2050年を想定した将来の熱環境・エネルギー・CO₂排出量を算出するために、現状と将来について建物・外構・緑の空間形状を1/500で再現した上で、各部位や階ごとに材料や設備等の情報を格納した入力データを整備する。

本研究では新たに開発・整備する部分として、図3に示すように入力データについては、①現状と将来の住宅における多様な家族類型・住まい方を考慮したエネルギー消費スケジュール、②将来的に実現可能な構成材料、建築設備、対策手法に関するデータベース、③現状と将来における住宅以外の用途に関するCO₂排出原単位DBの整備を行う。このうち、住宅以外のCO₂排出原単位DBは、既往の文献^{5) 6)}に基づき設定した。また現状の空間形態及び構成材料の整備は、研究参画者

街区スケール 周辺環境・建築外部空間
水と緑の配置、風の道の検討、建物配置の検討等



建築スケール
空間形態・構成材料・建築設備
開口部の検討、建築性能の改善、高効率建築設備の導入等

住まい方スケール 家族類型・住まい方
部屋の使い方の工夫、空調時間の削減、
照明・コンセント機器他の使用量の削減等

図2 住宅におけるスケール別の
エネルギー消費削減手法

らがこれまでに行った1/2500都市計画基本図や航空写真、現地調査等により入力データを収集した上で、建物の窓面やベランダ等を含む部位や凹凸を再現する手法⁷⁾を用いる。

また3つからなるシミュレータによる計算については、まず既存の屋外熱環境シミュ

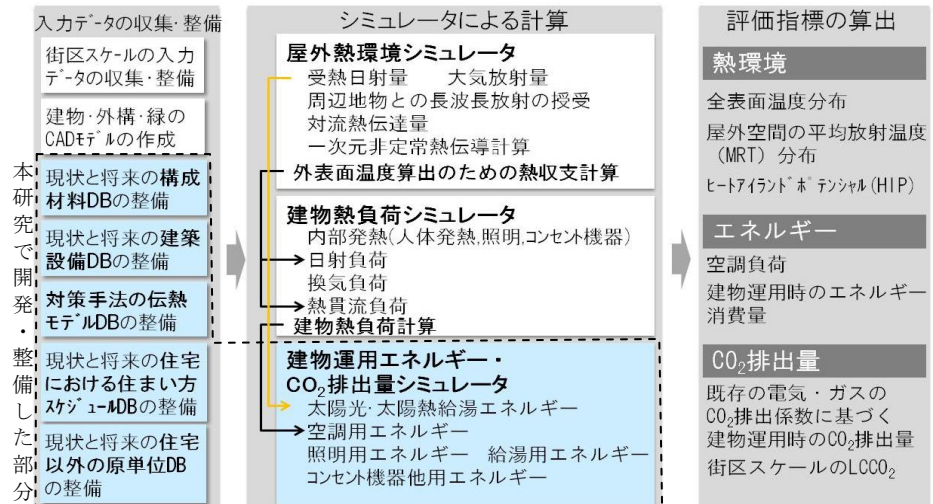


図3 3D-CADによる街区スケールの熱環境・エネルギー・CO₂排出量の予測・評価手法の構成

ュレータ³⁾により街区内の全表面の熱収支計算を行い、全表面温度分布を算出した結果に基づき熱環境に関する評価指標を算出する。次に屋外熱環境の算出結果を利用して建物熱負荷シミュレータ⁴⁾により建物の周辺環境を考慮した建物熱負荷計算を行う。そして建物熱負荷の計算結果から、住宅用及び非住宅用の空調用エネルギー消費量を計算する。このとき非住宅用については、空調機ファン動力、熱源補機、冷却塔動力分も積算する。今回は新たに④地域特性・季節・家族類型を考慮した住まい方を反映できるエネルギー消費量の算出手法の開発に取り組み、太陽光発電・太陽熱給湯システムによるエネルギーの創出量及び空調用・給湯用・照明用・コンセント機器他用2次エネルギー消費量と、建物運用時のCO₂排出量が算出可能な建物運用時のエネルギー・CO₂排出量シミュレータを構築する。そして熱環境・エネルギー・CO₂排出量に関する評価指標として、全表面温度分布、ヒートアイランドを起こしうる度合いを評価するヒートアイランドポテンシャル(Heat Island Potential)^{注1)}、屋外生活空間の熱的快適性に影響を及ぼす熱放射環境の評価指標である平均放射温度(Mean Radiant Temperature)^{注2)}、建物の空調負荷に加え、新たに建物運用時の2次エネルギー消費量とCO₂排出量、ライフサイクルCO₂(LCCO₂)により予測・評価する。なお街区の建築・土木に関するLCCO₂の算出は、既往文献^{8) 9)}等に基づき算出する。

注1) 梅干野ら³⁾が提案した、ある街区または敷地内の全ての面から大気側に対してどの程度顕熱負荷を与えうるかを、表面温度から直接求めることができる指標で、専門家以外の人々にもわかりやすいように温度の次元で示したものである。本指標は、街区または敷地を対象として、全ての面から出る大気への顕熱負荷を単位面積当たりで求めており、下式で定義される。

$$HIP[{}^{\circ}C] = \frac{\int_{all_surfaces} (T_s - T_a) dS}{A}$$

T_s : 表面温度 [°C] T_a : 外気温 [°C]
 dS : 微小表面積 [m²] A : 敷地または街区面積 [m²]

注2) 平均放射温度(MRT)は熱的快適性に影響を及ぼす熱放射環境の評価指標であり、ある点(微小球と仮定している)におけるMRTの算出式は下式の通りである。また天空放射温度は、表面温度算出時の気象条件の下で、Brunt式より算出した値を用いる。

$$MRT = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^N F_i \cdot T_{s_i}^4} - 273.2$$

MRT : 平均放射温度 [°C]
 F_i : ある解析メッシュから微小面への形態係数 [-]
 T_{s_i} : 微小面の表面温度 [K] N : 参照する微小面の総数

(2) 市民等とのコミュニケーションに利用可能な環境情報の可視化ツールの開発

図4に示すように効果的な熱環境・エネルギー対策手法や理想的なまちのあり方について具体的なまちづくりの中で議論するためには、街区内の他の問題点や対策手法の適用可能性といった情報を相互に参照し、多角的な観点で検討できることが求められる。また検討内容に応じて、A. 街区全体のまちなみや周辺環境の影響をみるための情報、B. 敷地単位や建物単位で対策位置を検討するための情報、C. 具体の熱環境対策位置や対策手法を検討するための情報、D. 必要な情報の抽出方法、E. 時系列のデータを提示する方法について、該当する空間スケールが異なることを考慮することや、ワイヤーフレームやソリッド・サーフィスマodel、RGB合成画像等の可視化方法を選択・切替

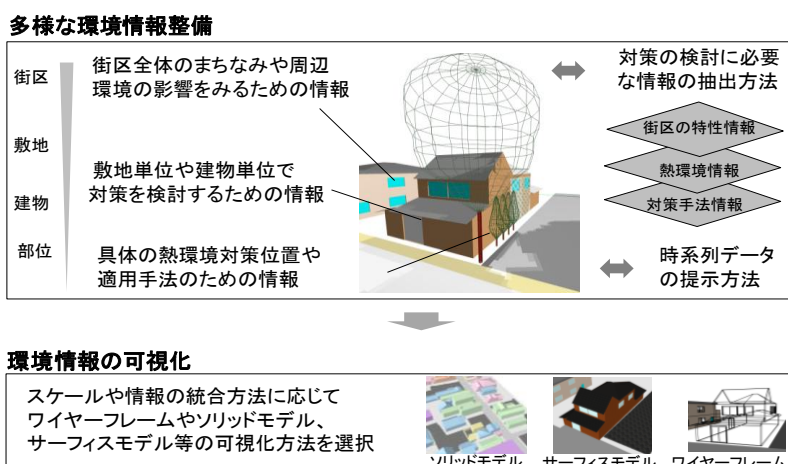


図4 環境情報の可視化ツールに関する全体フレーム

め、ワイヤーフレームやソリッド・サーフィスマodel、RGB合成画像等の可視化方法を選択・切替できることが効果的である。そこで街区スケールで再現した建物・地面・緑の3D CADモデルを、汎用GISソフト（Arc GIS 9.3 3D Analyst）上に取り込み、熱環境に配慮したまちづくりのための環境情報を様々な可視化方法で表示するシステムを開発する。

4. 結果・考察

(1) 3D-CADによる街区スケールの熱環境・エネルギー・CO₂排出量の予測・評価手法の開発

1) 住宅における現状と将来の住まい方スケジュールの整備

住宅のエネルギー消費量の削減に向けては、住まい方に関わる部分についても用途ごとに様々な対策手法が提案されている。しかしながら、単に省エネを強いるのではなく、より快適な生活の向上に資する手法と合わせて環境負荷の抑制を図っていくことが重要である。そのためには自然のポテンシャルを活かした街区・建築の提案を踏まえることや、環境負荷の側面だけではなく、社会的な問題にも対応しながら、総合的な観点から住まい方について議論していくことが不可欠である。

これまでも住宅のエネルギー需要を求める手法として伊香賀らのマクロモデル¹⁰⁾や森川ら¹¹⁾の住宅エネルギー最終需要モデルに関する一連の研究が挙げられる。しかしながら、これらは都市スケールの住宅部門によるエネルギー需要を予測することを目的としており、個々の建物を対象とした具体の対策手法による効果を検討することはできない。また谷本ら¹²⁾は、国民生活時間調査¹³⁾を用いて、住宅における冷暖房の発停モデルの構築や、多住戸系のエネルギー需要予測モデルの構築を行っているが、世帯差や地域差が大きく、多様な建物や間取りで構成されている実在街区を想定したエネルギー消費予測への展開にまでは至っていない。

そこで本研究では、現状の住まい方について代表的な家族類型や冷暖房使用時刻に基づき整備した上で、環境配慮行動に加えてワークシェアやボランティア活動等の無償労働を組み込んだ住まい方を将来の望ましい住まい方のモデルとして提案した。

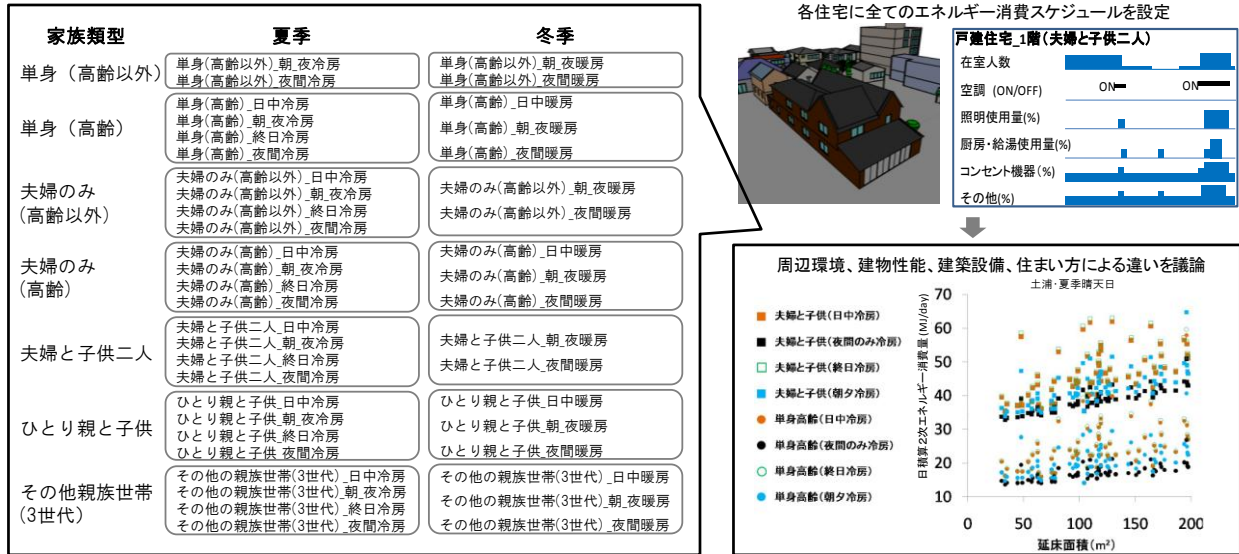


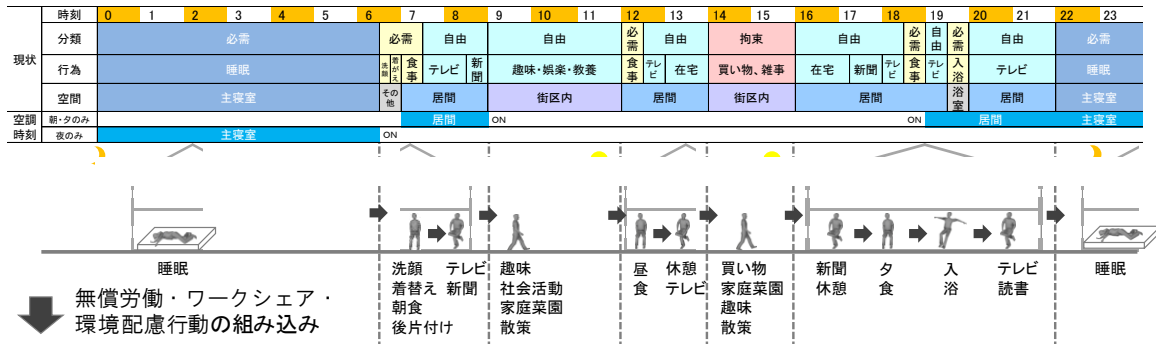
図5 周辺環境・建物性能・建築設備・住まい方を考慮した住宅におけるエネルギー消費削減手法

まず現状の住まい方については、例えば夏季は、国民生活時間調査に基づく標準的な家族類型と関東の平均的な冷房の使用行動について調査された、前¹⁴⁾の一日中OFFを除く4つの冷房発停パターンに基づき、図5に示すような計26パターンの住まい方スケジュールデータベース(DB)を構築して、空間形態と構成材料を再現した住宅モデルに階別に設定する。このとき冷房使用については、住宅で空調する部屋が主に居間及び寝室であることを考慮して、3D-CADによって再現した住宅モデルから算出した延床面積等を参考に標準的な間取りを想定した結果と住まい方より空調室を設定した。またその他給湯・照明・コンセント機器他の使用も住まい方と間取りを参考に決定した。これにより、各住宅の特徴に合わせて様々な居住者を想定したエネルギー消費パターンを解析することができ、エネルギー消費量・CO₂排出量削減に向けた対策手法について議論できる。

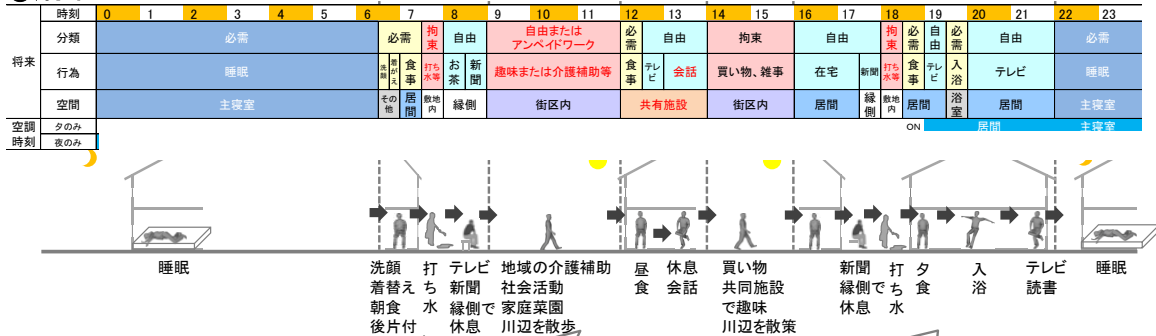
また将来の住まい方を提示する上では、単に空調時間の削減や設定温度の変更等の省エネルギーの視点だけではなく、屋外熱環境の快適性向上を図った空間の提示と一体となった住まい方の提示や、高齢化や労働時間等の社会的な問題にも適応した住まい方を提示することにより、環境負荷の抑制とより豊かなライフスタイルの実現の双方を目指すことが重要である。そこで図6に示すように前述の現状における住まい方スケジュールの中で、自然エネルギーを利用するための行動やサブテーマ3による将来のライフスタイル像を踏まえた住まい方スケジュールを提案した。

自然エネルギーを利用するための行動については、住宅のエネルギー消費実態調査¹⁵⁾で示されている省エネ手法や散水等の行動を、エネルギー消費行動の一部やパッシブ機能利用行動として、生活行動の中に組み込んでいるが、現在よりも建築外部空間にパッシブ手法が取り入れられ、より快適な屋外空間で生活できることを念頭に置いて設定している。またサブテーマ3によって提示された、これまで一部のみに偏っていた「育児」や「介護」を地域で担う必要性、ワークシェアリングの導入の必要性については、様々な家族類型内で無償労働(アンペイドワーク)を行う時間を設けることや、勤労者の生活スケジュールの中の労働時間を現状よりも短縮させた生活時間を住まい方スケジュールの中に組み込んだ。そして、環境負荷の抑制と、より豊かなライフスタイルの実現に向けた住まい方スケジュールを前述の季節別・家族類型別にまとめ、現状と将来の住まい方DBを整備した。図6に提案した現状と将来の住まい方スケジュール例を示す。

○現状



○将来



快適な屋外空間の創出と環境配慮行動を踏まえた空調時間削減

地域の高齢化や過重労働等の是正を目指した無償労働・ワークシェアの組み込み

- ・「育児」、「介護」の一部をワークシェアリングを導入した勤労者や労働意欲のある高齢者等で分担
- ・日中の空調、照明、コンセント機器の利用をデイケア施設等に集約化

コミュニティダイニングの導入を踏まえた空調・照明・コンセント機器利用時間の削減

- ・大勢で共食し、地域のコミュニケーションの場を創出
- ・共食により個別で消費されてきた空調、照明、コンセント機器の利用を集約化

図6 環境配慮行動・ワークシェア・無償労働を組み込んだ将来の住まい方の提案

2) 現状と将来の住宅における構成材料・建築設備・対策手法DBの整備

エネルギー消費の削減には、住まい方とともに建築性能や建築設備の性能も大きく関係し、各建物や建築外部空間に適用される様々な対策手法についても考慮できることが重要である。

そこで本研究では、構成材料DBについては、現状の建物構造・建物用途・建物部位・表面材料別に構成材料を分類した結果⁷⁾に基づき、将来普及が見込まれる構成材料と断面仕様を、次世代省エネ基準¹⁶⁾の数値等を参考に、図7(a)に示すように整備した。

将来普及が見込まれる建築設備性能については、用途に応じて様々な研究機関において性能予測や目標とする性能値が示されているが、参照する文献によって値が大きく異なる。そこで将来の建築設備DBについては、用途に応じて2050年迄の建築設備性能のシナリオを、図7(b)に示すように最大・最小・標準値について作成し、それぞれの値を想定した場合の変化のバリエーションを考慮しながら予測・評価が可能となるように整備した。

対策手法DBのうち将来の太陽光発電、太陽熱給湯のエネルギー変換効率についても建築設備DBと同様に、図7(c)に示すような最大・最小・標準値についてのシナリオをエネルギー技術ロードマップ¹⁷⁾等から設定した。また太陽電池モジュールについては、日本太陽エネルギー学会¹⁸⁾等

の資料をもとに断面仕様とその熱物性値を整備した上で、伝熱モデルを整備した。また太陽熱給湯についても平板型集熱器を想定し、断面仕様とその熱物性値を整備した上で、伝熱モデルを整備した。その他の屋上緑化、壁面緑化、保水性舗装等の手法については既存の3D-CAD対応熱環境シミュレータ³⁾において整備されている伝熱モデルを使用した。

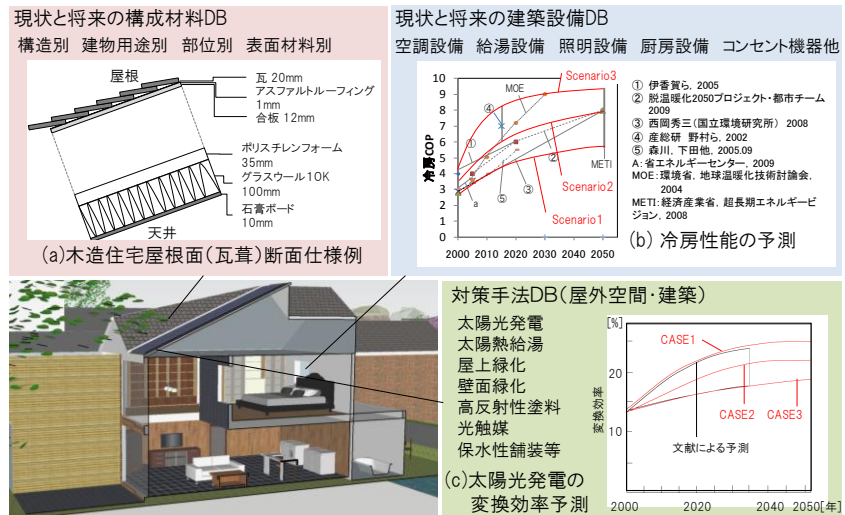


図7 現状と将来の構成材料・建築設備・対策手法DBの整備結果例

3) 住宅におけるエネルギー消費計算手法の概要

前述の住まい方DBの整備結果や、建築設備DB等を用いて住宅におけるエネルギー消費量を算出するため、本研究では図8に示すように現状と将来のエネルギー消費量について、使用用途別に建物性能や建築設備性能、住まい方による違いや対策手法による効果を算出できる計算手法を提案した。以下にその概要を述べる。

a 空調用エネルギー消費

前述の地域・季節・家族類型別空調設定時刻及び空調使用室の設定と、空調設定温度を踏まえ、空調用エネルギー消費量は、屋外熱環境シミュレータと建物熱負荷シミュレータを用いた建物熱負荷(顕熱、潜熱)の計算結果から、空調設備の成績係数(COP)をもとに算出する。このとき、COPの部分負荷特性も考慮する。また室内の内部発熱条件は、滞在者人数と、後述する空調使用室の照明用、コンセント機器用エネルギー消費を算出した結果を用いる。

b 給湯用エネルギー消費

給湯用エネルギーは、地域特性の違いや給水温の季節変動とともに、世帯人員との相関が高いことが知られている。この要因として、単身者や2人暮らしでは、夏季においては「入浴」の際に湯張りをせずに、シャワーのみの利用頻度が高いことや、世帯人員の多い世帯では、浴槽が大きく、追い炊きや差し湯の利用頻度が高いこと等が影響している。また、入浴以外の主な給湯利用である「炊事」「洗顔」においても世帯人員との相関がみられる。そこで本研究では、世帯人員ごとの入浴の傾向や使用量について、家族類型別に最も一般的と思われるそれぞれの行為に係る給湯量を算定する。また給湯温度については、夏季使用時における入浴(湯張り・シャワー)、炊事、洗顔の値をSCHEDULE¹⁹⁾を参考に設定し、給水温度は計算対象地域の月平均気温を基に設定した結果¹⁷⁾に基づき、給湯用2次エネルギー消費量を算出する。

c 厨房用・照明用・コンセント機器他用エネルギー消費

厨房用エネルギーについては、世帯人員による影響が大きいことから、夏季及び冬季ともに石田²⁰⁾による式を用いて、1日当りの厨房用2次エネルギー消費量[MJ/day]を算出する。

照明、コンセント機器他用エネルギー消費については、家族類型別の行為や滞在の有無に基づき使用機器確率を求め、エネルギー消費量を算出する手法が一般的である。しかしながら実際に

は行為時間だけではなく、テレビの「ながら視聴」のように、実際には何かをしながら別の行為も行うといったこともあり、実測によるエネルギー消費量と乖離した結果となる場合もみられる。また既存のエネルギー消費量の算出方法では、標準的な間取りを設定したいくつかの建物タイプに対してのみ計算しているため、実測において示されている床面積との相関関係を考慮することができない¹⁵⁾。そこで本研究では、既往文献²¹⁾を参考に地域・季節・家族類型・延床面積別に照明、コンセント機器他用エネルギー消費量を算出する。

まず不在時や就寝時等でも消費されるものをベース電力として取扱い、その中でも待機電力、冷蔵庫、温水洗浄便座のエネルギー消費量を算出する。待機電力は、待機電力消費量調査²²⁾に基づき延床面積別に設定する。冷蔵庫の電力消費量は、家族類型別・季節別に冷蔵庫のエネルギー消費量について調査された結果²¹⁾から、冷蔵庫のエネルギー消費量を設定する。また将来の冷蔵庫のエネルギー消費量については、家族類型別の平均的な冷蔵庫容量抽出した上で現在のトップランナー機器の消費電力を想定する。

照明・コンセント機器他用による追加電力は、家族類型や延床面積との相関が指摘されているが、家族人数が少人数の場合は、多様な居住空間が想定されるのに対し、家族人数が多い場合は、一定の延床面積以上の場合が多い。そこで本研究では、家族人数が3名以上で、かつ想定される各建物の住宅タイプのうち、2DK以上（70m²以上）の場合に、居住者の夜間に過ごす部屋がそれぞれ異なることを想定し、テレビ・

エアコンとも2台以上同時に使用することを想定した。その他洗濯機・掃除機・ドライヤー・電子レンジ等については、既存の数値を家族人数別に設定した。

以上より、新たに現状と2050年を想定した将来の構成材料・建築設備・住まい方データベースの整備と地域特性・季節・家族類型別の住まい方を反映できるエネルギー消費計算手法を導入することにより、熱環境・エネルギー・CO₂排出量について、空間設計から住まい方の提案迄を包括的に予測・評価することが可能とした。また本手法を適用した土浦市中心市街地と福生市住宅街区における現状と将来の予測・評価結果についてはサブテーマ3及び4の報告書内に詳述する。

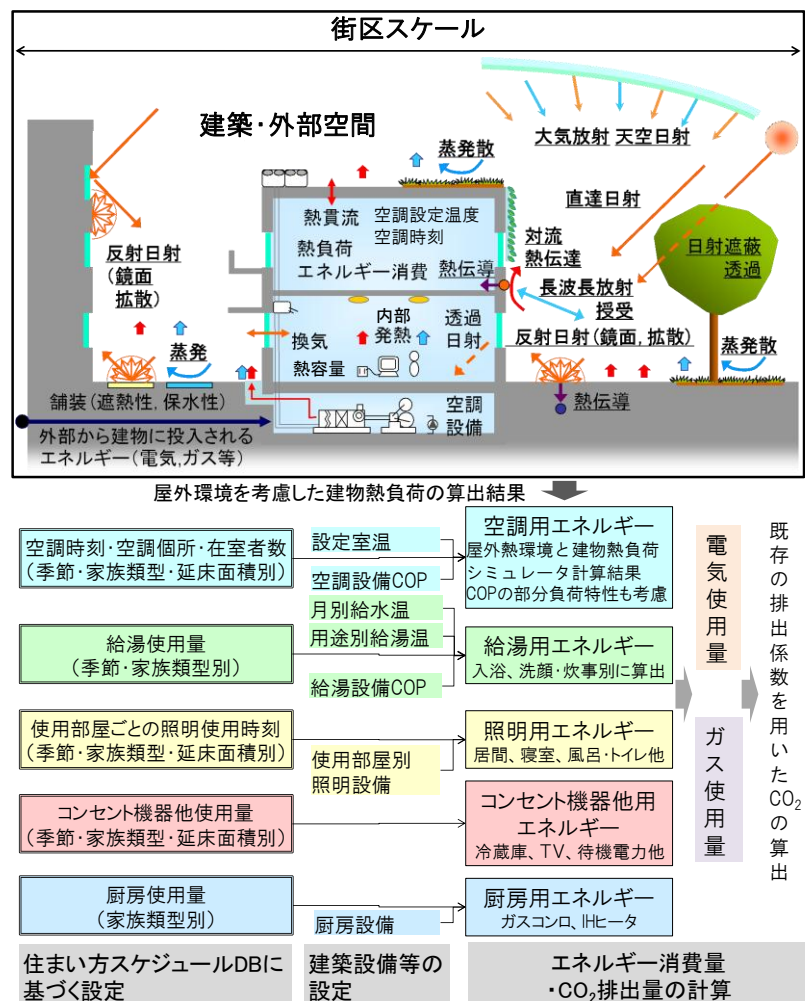


図8 住宅のエネルギー消費計算手法の概要

(2) 市民等とのコミュニケーションに利用可能な環境情報の可視化ツールの開発

1) 可視化する環境情報の抽出

まず前述の熱環境・エネルギー・CO₂排出量に関する評価指標とともに、まちづくりを行う上で整備すべき情報を整理した。

a まちづくりにおいて必要な街区の特性情報の整備

既存のまちづくりにおいて広く利用されているデータとして、1/2500 東京都都市計画 GIS データが挙げられる。この中では建物用途や階数といった各建物の基礎的な項目が整備されている。一方実際のまちづくりにおいては、その街の実情に応じて防犯や防災、活性化や交通、空地化、景観保全等キーワードとなる課題が異なる。そのため、街区の特徴を示す項目も整備が必要である。また熱環境を規定する項目の整備も熱環境の形成要因の分析に有用である。

b シミュレータによる熱環境情報の整備

本研究では、まちづくりと密接に関わる熱環境情報として、前述の屋外熱環境シミュレータを用いて算出した全表面温度分布と、街区や敷地単位の全表面温度分布から求まる大気への顕熱負荷を示すヒートアイランドポテンシャル(HIP)、屋外生活空間の熱放射環境を評価する平均放射温度(MRT)分布を算出する。さらに、熱放射環境の影響を考慮した空調負荷及び建物運用エネルギー消費量・建物運用時のCO₂排出量を算出する。これらの評価指標を同時に表示して時系列データをスムーズに切替可能とすることで、周辺への環境負荷と熱的快適性を見比べながら、現状分析や問題点を把握することが可能なシステムとなる。また、例えば表面温度が高温化する個所について、荷重等の各種条件を満たして緑化可能であるかといった対策手法の適用可能性に関する情報が整備されれば、効果的な対策手法の検討に有用である。

2) 3D-GIS による可視化システムの開発

本節では上記の検討結果を踏まえ、各種情報を 3D-CAD や数値解析、データシートを用いて整備し、汎用 GIS に取り込む方法を示す。

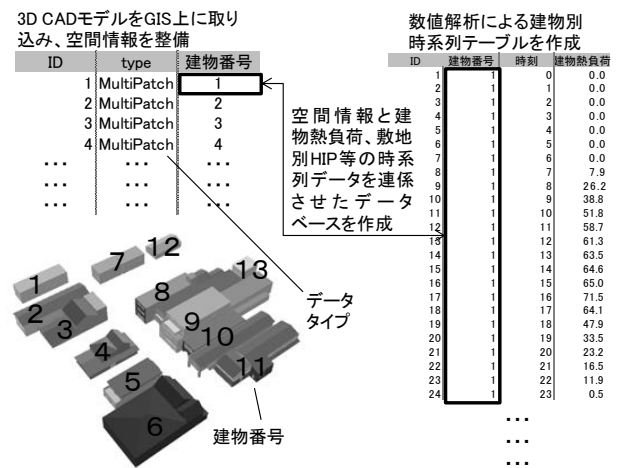
a 環境情報の整備方法

- i 街区の特性情報は、後述する街区の基礎項目、街区の特徴を示す項目、熱環境を規定する項目をデータシート上に整備した結果を、3Dモデルの属性データとして付加する。
- ii 熱環境情報については、図9に示すように、3DモデルをGISに取り込んだ上で、建物熱負荷や敷地別HIP等の時系列データの算出結果に関するデータテーブルを作成し、空間データと時系列データを建物番号に基づき関係させたデータベースを構築する。

- iii 緑化等の各種熱環境対策手法が適用可能な位置を、3D-CADを用いて整備し、GISに取り込む。

b 街区の特性情報の可視化方法

街区の基礎項目は1/2500 東京都都市計画 GIS データで整備されている項目に加え、都市空間内の空間形態や構成材料の違いが表面温度に与える影響を表現できる0.2m以上の凹凸を再現するために収集した空間形態・構成材料に係る項目を整備した。これらの項目は3次元の建物や緑の



ソリッドモデルに属性データとして整備し、色分けして表示する。また地面は、2次元の面データとして整備して表示する(図10(a))。

街区の特徴を示す項目は、本研究ではその街の状況に応じて適宜整備される項目を指す。近年まちづくりの中で中心的に議論される代表例としては、防犯等の安全性や地域活性化、交通機関等への利便性、歴史的なまちなみに関わる項目等が挙げられる。ここではサブテーマ4の報告書内で述べられている、歴史的なまちなみを有するが近年空地が増加し、まちの活力が衰退している街区を想定して、景観に関わる項目、空地化に関係する項目、歴史的変遷に関わる項目を、現地調査等に基づき整備した結果を示す。これらの情報の中でまちの成り立ちや変遷に関する情報は、街区スケールで現状と比較しながら表示されるのに対し、景観用3D CADモデルは、街区全体～生活空間スケールで表示されることを想定し、詳細な表現にも対応する。すなわち、景観CADについては、表面素材画像を各部位についてテクスチャマッピングしたモデルを提示する。またその他の情報は都市計画情報と同様にソリッドモデル及び面データとして整備する(図10(b))。

熱環境を規定する項目は、熱環境の形成要因を分析するために必要な情報である。ここでは、各建物または地面の日射反射率、熱貫流率、熱容量、建物熱損失係数、断面仕様、日積算受熱日射量分布を、3D-CAD対応熱環境シミュレータを用いて算出・表示する。そして建物熱損失係数は、建物単位の違いを比較するため、ソリッドモデルを色分けして表示し、その他は部位ごとの違いをテクスチャマッピングにより色分けして表現する(図10(c))。

c 熱環境情報の可視化方法

3D-CAD対応熱環境シミュレータでは、15分間隔の計算結果を出力可能であるが、本システムでは1時間ごとの全表面温度分布、生活空間高さのMRT分布及び代表点MRT、建物熱負荷、敷地別HIPの時系列データをGIS上に取り込み、各指標を切替可能とするとともに、様々なスケール・視点で表示できるようにした。

図11に示すように、敷地別HIP及び建物熱負荷に関する時系列データを、街区スケールで表示する際に、敷地や建物毎の大小を視覚的に明らかにすることで、対策を行うべき敷地や建物を示すことが望まれる。そこで建物熱負荷については、熱負荷量に合わせた大小の球体を建物上空に配置する。また敷地別HIPについては、敷地データをHIPの大小に合わせて色分けし、表示する。また全表面温度分布や生活空間高さのMRT分布を、街区～生活空間スケールで様々な角度・視点から表示することで熱環境について議論できる。そこで、3D CAD対応熱環境シミュレータで出力した全表面温度分布及び生活空間高さのMRT分布をテクスチャとして取り込み、時刻別レイヤとして整備する。また昼夜を通して高温化する個所を明らかにするため、朝、昼、午後、夜等の代表的な時間帯の表面温度分布画像からRGB合成画像を作成する。滞在者の生活空間や各生活空間におけるMRTを示すため、3D人物モデルを配置し、各地点の生活空間高さのMRT値を色分けにより表示する。そして、図11のように1時間ごとに評価指標を同時に切り替えて、大気への顕熱負荷、屋外空間の熱的快適性、建物熱負荷を多時刻でも検討可能とした。

d 熱環境・エネルギー消費対策手法の適用可能位置に関する可視化方法

代表的な熱環境・エネルギー消費対策手法を整理し、緑化可能位置や保水性舗装、太陽光・太陽熱給湯等の各種対策手法の適用可能位置を文献²³⁾による手法を用いて抽出する。そして熱環境・エネルギーと各種対策手法の適用可能位置を同時に表示することで効果的な対策について検討可能な可視化情報を整備した。

例えば敷地・建物レベルでも表面温度分布（図 12(a)）や日積算受熱日射量分布（図 12(c)）を算出した結果について、20 年前迄は密接して建物が建てられていた隣接敷地が駐車場化したこと（図 12(b)）を踏まえて、日中を通して受熱日射量が増え、特に西日の影響で、西壁面の表面温度が高温化していること等が考察できる。そして、オープンスペースの利用や生活空間の快適性向上に加え、建物の熱負荷低減にも配慮した提案やその効果を、街区～生活空間スケールで多様な視点から確認することができ、市民等とのコミュニケーションツールとしても有用である可能性が示される。

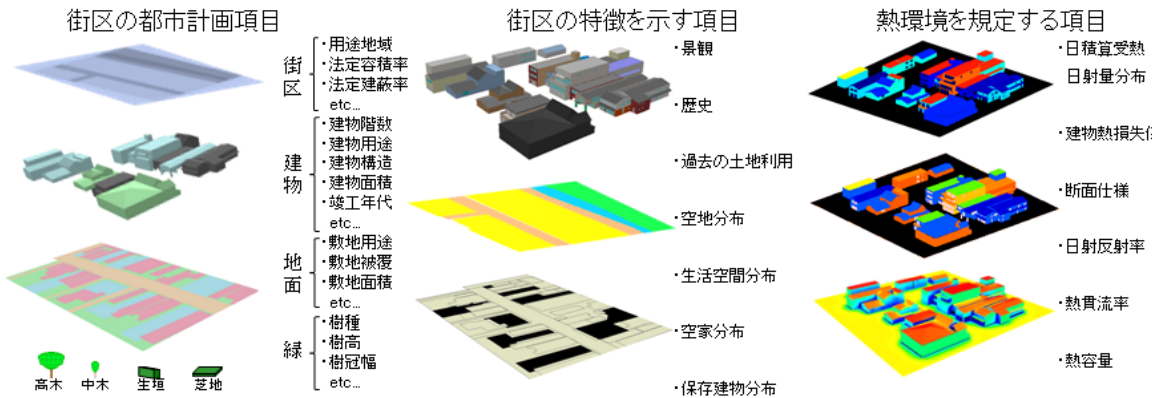


図10 整備した街区の都市計画項目・街区の特徴を示す項目・熱環境を規定する項目

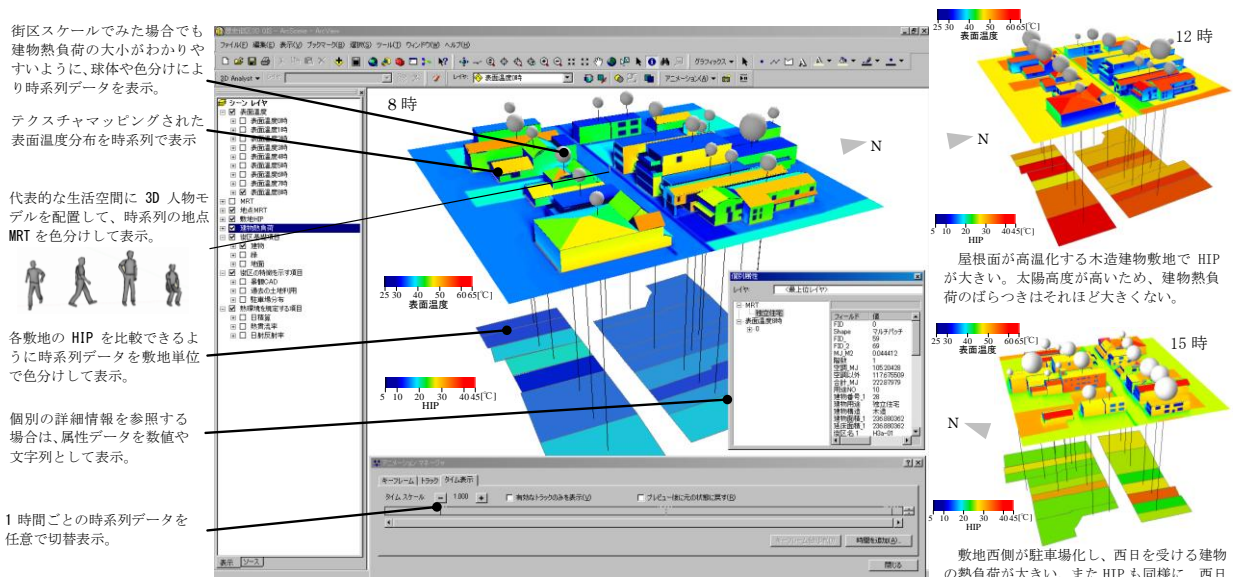


図11 熱環境情報の可視化及び画面表示例

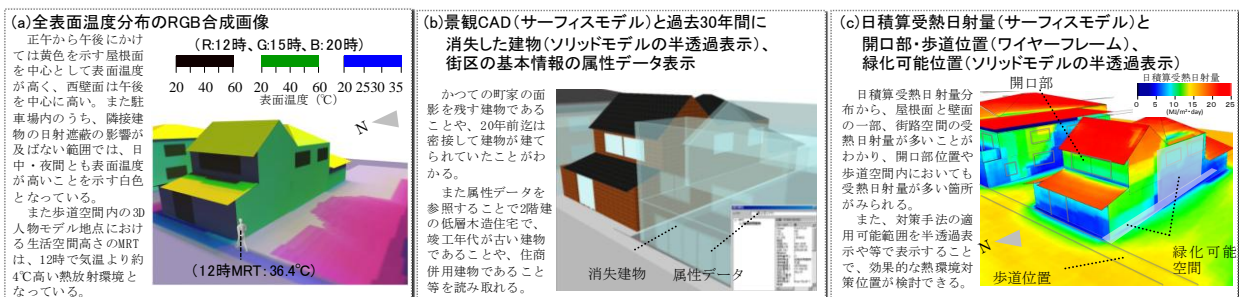


図 12 可視化ツールによる多様な環境情報の表示例

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

3D-CAD対応熱環境シミュレータに地域特性・季節・家族類型を考慮した住まい方を反映できるエネルギー消費計算手法を導入した。そして、現状と2050年を想定した将来の構成材料・建築設備・住まい方のデータベースを整備したことにより、現状と将来の熱環境・エネルギー・CO₂排出量を定量的に予測・評価することを可能とした。

土浦市の中心市街地と福生市の住宅街区をケーススタディとして、現状と2050年を想定した将来像の熱環境・エネルギー・CO₂排出量を予測・評価し、エネルギー消費量・CO₂排出量が50%以上削減されるとともに、ヒートアイランドの抑制と快適な生活空間も実現可能であることを示した。

(2) 環境政策への貢献

まちづくりや街区設計のレベルにおいて、低炭素社会の熱環境・エネルギー・CO₂排出量が予測・評価できる。また可視化した環境情報を市民や行政担当者等に分かり易く提示できる。

環境負荷の抑制と快適な生活空間を実現できる2050年を想定した具体的な将来像を示すとともに、実現に向けたロードマップを他のサブテーマとともに提示した。

土浦市広域と中心市街地の航空機リモートセンシングデータの取得により、地域の立地・気候特性に配慮したまちづくりのための都市～街区スケールの土地被覆及び熱環境のデータベースを作成した。

6. 引用文献

- 1) 建築環境・省エネルギー機構:The Best(Building Energy simulation tool) プログラムHP, <http://www.ibec.or.jp/best/> (2011.4.19参照(オンライン))
- 2) 建築環境・省エネルギー機構:CASBEE(建築環境総合性能評価システム)HP, <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/index.htm> (2011.4.19参照(オンライン))
- 3) 梅干野晁他:3D-CADと屋外熱環境シミュレーションを一体化した環境設計ツール,日本建築学会技術報集,20,195-198,2004.12
- 4) 浅輪貴史,梅干野晁:屋外の空間形態と構成材料を考慮した建築伝熱シミュレーションモデルの開発、日本建築学会環境系論文集,578,47-54,2004.4
- 5) 日本エネルギー経済研究所:民生部門消費エネルギー実態調査(業務部門編I),2001.10
- 6) 日本ビルエネルギー総合管理技術協会:平成20年度版建築物エネルギー消費量調査報告書(第31報),日本ビルエネルギー総合管理技術協会,2009.1
- 7) 梅干野晁他:実在市街地の3D-CADモデリングと夏季における街区のヒートアイランドポテンシャル 数値シミュレーションによる土地利用と土地被覆に着目した実在市街地の熱環境解析その1,日本建築学会環境系論文集,612,97-104,2007.2
- 8) 例えば日本建築学会:建物のLCA指針第三版,2006.11
- 9) 井村秀文編著:建設のLCA,オーム社,2001.6
- 10) 伊香賀俊治他:住宅のエネルギー消費量とCO₂排出量の都道府県別マクロシミュレーション手法の開発,日本建築学会技術報告集,22,263-268,2005.12
- 11) 例えば森川貴夫他:住宅や機器の性能分布を考慮した大阪市住宅エネルギー需要の推計 世帯詳細区分型都市住宅エネルギーエンドユースモデルの開発と応用(2),日本建築学会環境系

論文集, 595, 97-104, 2005. 9

- 12) 例えば谷本潤, 萩島理: 住棟・街区など多住戸系への適用を前提にした居住者の生活スケジュールの多様性を考慮した包括的ユーティリティデマンド予測手法, 日本建築学会環境系論文集, 76, 660, 141-149, 2011. 2
- 13) NHK放送文化研究所編: 国民生活時間調査2000, NHK出版, 2000
- 14) 前真之, 鍋島美奈子, 永村一雄, 長井達夫, 二宮秀與, 鎌田元康: 集合住宅における冷房の使用状況に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, 87, 41-50, 2002. 10
- 15) 日本建築学会: 日本の住宅におけるエネルギー消費, 丸善, 2006. 10
- 16) 建築環境・省エネルギー機構: 住宅の省エネルギー基準の解説第3版, 2009. 3
- 17) 経済産業省: CoolEarth-エネルギー革新技术計画 技術開発ロードマップ, 2008, 3
- 18) 日本太陽エネルギー学会編: 持続可能エネルギー講座第1巻 持続可能エネルギー総論, 2007. 10
- 19) 空気調和衛生工学会・住宅用エネルギーシミュレーション小委員会: 生活スケジュール自動生成プログラムSCHEDULE Ver. 2.0 マニュアル, 2000. 3
- 20) 石田建一: 戸建住宅のエネルギー消費量, 日本建築学会計画系論文集, 501, 29-36, 1997. 11
- 21) 例えばNEDO: 住宅におけるエネルギー使用に係る実態調査及び情報提供事業成果報告書, 2004. 3
- 22) 省エネルギーセンター: 平成19年度待機時消費電力調査報告書, 2008. 3
- 23) 例えば国土交通省: 新技術情報提供システムHP, <http://www.netis.mlit.go.jp/> (2011. 4. 19参照(オンライン))

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 梅干野晁, 浅輪貴史, 佐藤理人, 河合英徳, 中村勉: 歴史的な街並を有する市街地における空地化とその環境影響の評価 数値シミュレーションによる空地化が夏季熱環境と建物熱負荷量に及ぼす影響の解析, 日本建築学会環境系論文集, 75, 656, 899-905 (2010. 10)
- 2) 佐藤理人, 梅干野晁, 浅輪貴史: 熱環境に配慮したまちづくりのための環境情報の可視化システムの開発, 日本建築学会技術報告集, 16, 34, 255-258 (2011. 2)
- 3) 河合英徳, 梅干野晁, 浅輪貴史, 佐藤理人, 中村勉, 中村美和子: 地方中心都市の市街地における熱環境に配慮した空地の活用法の提案と評価, 日本環境管理学会誌, 72, 11-19 (2011. 5)

(2) 口頭発表(学会)

- 1) 佐藤理人, 梅干野晁, 浅輪貴史: 3D-CADを用いた熱環境・エネルギー・CO₂排出量の予測評価に基づくまちづくり支援ツールの開発に関する基礎的研究 その1-土浦市中心市街地の実在街区を対象とした熱環境評価-, 平成21年度日本環境管理学会大会, 29-32 (2009. 5)
- 2) 佐藤理人, 梅干野晁, 浅輪貴史: 3D-CADを用いた熱環境・エネルギー・CO₂排出量の予測評価に基づくまちづくり支援ツールの開発に関する基礎的研究 その2 -土浦市中心市街地の

- 実在街区を対象としたCO₂排出量評価-, 平成21年度日本環境管理学会大会, 33-36 (2009. 5)
- 3) Rihito Sato, Akira Hoyano, Takashi Asawa : Modeling Method of Substantial Urban Area Using 3D-CAD and its Application to Thermal Environment Simulation in Rural Cities, The 7th International conference on Urban Climate, P1-30 (2009.6)
 - 4) 佐藤理人, 浅輪貴史, 梅干野晁: 地域特性・家族類型を考慮した夏季における住宅のエネルギー消費スケジュールの提案 3D-CADを用いた実在街区の熱環境・エネルギー・CO₂排出量の予測・評価 その1, 第4回日本ヒートアイランド学会全国大会, 66-67 (2009. 8)
 - 5) 河合英徳, 梅干野晁, 浅輪貴史, 佐藤理人: 駐車場の緑化による街区の熱環境改善・エネルギー消費量削減効果の評価, 日本ヒートアイランド学会第4回全国大会, 68-69 (2009. 8)
 - 6) 佐藤理人, 梅干野晁, 浅輪貴史: 3D-CADを用いた熱環境・エネルギー・CO₂排出量の予測評価に基づくまちづくり支援ツールに関する研究 その1-実在街区を対象とした戸建住宅のCO₂排出量評価-, 日本建築学会大会(東北) 学術講演会, D-1, 809-810 (2009. 8)
 - 7) Rihito Sato, Takashi Asawa, Akira Hoyano, Hidenori Kawai : Numerical Analysis of Changes in Indoor and Outdoor Thermal Environment for Historical Urban District in Past Decades, URBIO2010 International Conference, P-58 (2010.5)
 - 8) 押尾晴樹, 浅輪貴史, 梅干野晁: 航空機MSSによる土壌の含水状態を考慮した表面温度分布の解析と土地被覆分類, 日本リモートセンシング学会(平成22年春季)学術講演会, P15 (2010. 5)
 - 9) 河合英徳, 梅干野晁, 浅輪貴史, 佐藤理人, 中村勉: 歴史的な街並を有する市街地における低炭素社会を目指した街区の将来像の提案と評価 その1 将来像の提案に向けた街区の熱環境・エネルギー消費量の現状分析, 平成22年度日本環境管理学会大会 (2010. 5)
 - 10) 梅干野晁, 浅輪貴史, 佐藤理人, 河合英徳, 中村美和子, 中村勉: 歴史的な街並を有する市街地における低炭素社会を目指した街区の将来像の提案と評価 その2 街区の将来像の提案, 平成22年度日本環境管理学会大会 (2010. 5)
 - 11) Rihito Sato, Takashi Asawa, Akira Hoyano : Proposal of Inhabitants' Behavior Schedules Aiming at Energy Demand Simulation in Actual Urban Districts, Renewable Energy 2010 International Conference, P-At-26 (2010.6)
 - 12) Hidenori Kawai, Akira Hoyano, Takashi Asawa, Rihito Sato : Proposal and Evaluation of Urban Block and Buildings Making Use of Natural Energy in a Japanese Historical Urban District, Renewable Energy 2010 International Conference, P-At-25 (2010.6)
 - 13) 佐藤理人, 梅干野晁, 浅輪貴史: 3D GISによる熱環境に配慮したまちづくりのための環境情報の可視化システムの開発, 第5回日本ヒートアイランド学会全国大会, 2010. 7
 - 14) 佐藤理人, 浅輪貴史, 梅干野晁: 多様な住まい方に基づく戸建住宅街区の夏季及び冬季晴天日における2次エネルギー消費量の評価, 日本建築学会大会(北陸) 学術講演会, D-1, 673-674 (2010. 9)
 - 15) 河合英徳, 梅干野晁, 浅輪貴史, 佐藤理人, 中村勉: 市街地における空地化が屋外熱環境・建物熱負荷に及ぼす影響の数値解析, 日本建築学会大会(北陸) 学術講演会, D-1, 803-804 (2010. 9)
 - 16) Rihito Sato, Akira Hoyano, Takashi Asawa : Development of Environmental Information Visualization System for Supporting Thermal Environment Design in City Planning using 3D GIS,

10th International Symposium on Building and Urban Environmental Engineering (2010.11)

- 17) Hidenori Kawai, Akira Hoyano, Takashi Asawa, Rihito Sato, Ben Nakamura, Minako Nakamura :
Proposal of Environmental Design for Vacant Lots in a Local Center City in Japan and Evaluation of
the Thermal Environment, 10th International Symposium on Building and Urban Environmental
Engineering (2010.11)
- 18) 押尾晴樹, 梅干野晁, 浅輪貴史: 航空機多時期分光画像を用いた土地被覆及び標高と表面温度
との関係に関する解析, 平成22年度日本赤外線学会研究発表会, P-21 (2010.11)
- 19) 河合英徳, 梅干野晁, 浅輪貴史, 佐藤理人: 地方中心都市の市街地における環境に配慮した空
地の活用法の提案と予測・評価, 日本大学学部連携シンポジウム「公開国際シンポジウム持続
可能な環境とコミュニティの創造学」, 11 (2011.2)
- 20) 河合英徳, 梅干野晁, 浅輪貴史, 佐藤理人: 歴史的なまちなみを有する市街地における低炭素
社会を目指した街区の将来像の提案と評価 その3 提案した街区の熱環境・エネルギー消費量
の予測・評価, 平成23年度日本環境管理学会大会 (2011.5)
- 21) 萩田和将, 浅輪貴史, 梅干野晁, 押尾晴樹: 二時期の航空機MSS画像を用いた筑波山の表面温度
分布の特徴解析, 日本リモートセンシング学会(平成23年春季)学術講演会 (2011.5)
- 22) Rihito Sato, Takashi Asawa, Akira Hoyano : Numerical Analysis of Thermal Environment and
Energy Consumption for an Actual Residential District based on Various Inhabitants' Behavior
Schedules, 27th International conference on Passive and Low Energy Architecture (全文審査付)
(2011.7)
- 23) Hidenori Kawai, Akira Hoyano, Takashi Asawa, Rihito Sato, Ben Nakamura : Proposal and
Evaluation of the Environmental Design for the Vacant Lots in a Japanese Historical Urban District,
27th International conference on Passive and Low Energy Architecture (全文審査付) (2011.7)
- (3) 出願特許
特に記載すべき事項はない
- (4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)
特に記載すべき事項はない
- (5) マスコミ等への公表・報道等
特に記載すべき事項はない
- (6) その他
Renewable Energy 2010国際会議, Best Poster Award受賞, 2010年6月 (Hidenori Kawai, Akira
Hoyano, Takashi Asawa, Rihito Sato)