

## 自立型都市をめざした都市代謝システムの開発

研究代表者 東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所 柏木孝夫

Development of Urban Metabolism Systems for Self-closed Cities

Takao Kashiwagi, *Professor*

Graduate School of Bio-Applications and Systems Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

### 1. 研究の概要

本プロジェクトでは、環境負荷の排出を抑えた都市は省エネルギーやリサイクルによりエネルギーや素材などの投入を削減する都市であり、その意味で自立的であるとの考え方に基づき、それを実現する都市代謝システムのあり方の確立およびそのための関連技術の開発を目的としてきた。ここでは、都市代謝システムをエネルギー、素材・水、緑地・都市計画、ライフスタイルの観点から捉え、各々の技術やシステムを検討するのみならず、それらをサブシステムとしGISデータベースと統合することによって環境低負荷型の都市計画を支援するための都市シミュレータの開発を進めてきた。

過去5年間にわたり要素技術開発として次の課題に取り組んだ。

#### ■エネルギー系

- ・ 低温熱駆動型吸着冷凍機の性能評価
- ・ 吸収ヒートポンプサイクルを応用した常温熱輸送の性能評価
- ・ アンモニア・水混合冷媒を利用したカーリナサイクルの解析
- ・ エジェクタを利用した真空式氷蓄熱の開発
- ・ 非結像フレネルレンズを利用した太陽集光器の開発
- ・ ローエネルギーハウスの建設・評価
- ・ 帯水層を利用した長中期蓄熱の建設・評価

#### ■廃棄物・水・大気処理系

- ・ 光触媒を利用した雨水消毒技術の開発
- ・ 廃プラスチック分別装置の性能評価
- ・ 下水処理水による野菜等植物栽培およびその下水処理効果の検証
- ・ 樹木による大気汚染の浄化

#### ■都市計画系

- ・ 電気自動車等低公害自動車の走行シミュレータの開発

一方、システム評価として次の課題について研究を行った。

#### ■エネルギー系

- ・ 最適化型都市エネルギーシステムモデルの開発

- ・ 集合住宅における年間電力負荷の実測

■ 廃棄物・水・大気処理系

- ・ 廃棄物収集・処理モデルの開発
- ・ 雨水流出モデルによる雨水浸透効果の評価
- ・ 水供給処理モデルによる中水利用の評価

■ ライフスタイル系

- ・ 省エネルギーに与えるライフスタイルの影響の分析
- ・ 都市施設の LCA 評価モデルの開発

■ 都市計画系

- ・ 道路交通モデルによる運輸エネルギー削減方策の評価
- ・ 緑地のアメニティ評価モデルの開発
- ・ オンラインで計算可能な熱環境シミュレーションモデルの開発

さらに、ここで開発したモデル群を統合化した「都市シミュレータ」の開発を行った。都市シミュレータは環境低負荷型の都市設計を支援することを目的とし、設計者（例えば自治体の都市計画担当者）が都市シミュレータに様々な施策を入力し、その結果を評価するとともに何度も施策を修正あるいは追加しながら、最も満足度が高く整合の取れた計画を策定するツールとなる。従来はエネルギー、廃棄物等供給処理、都市計画などはそれぞれ個別に分析されており、相互の関係が必ずしも反映されているとはいえない。本シミュレータの大きな特徴の一つはサブモデル間で情報をやりとりし、整合のある結果を出力できる点にある。

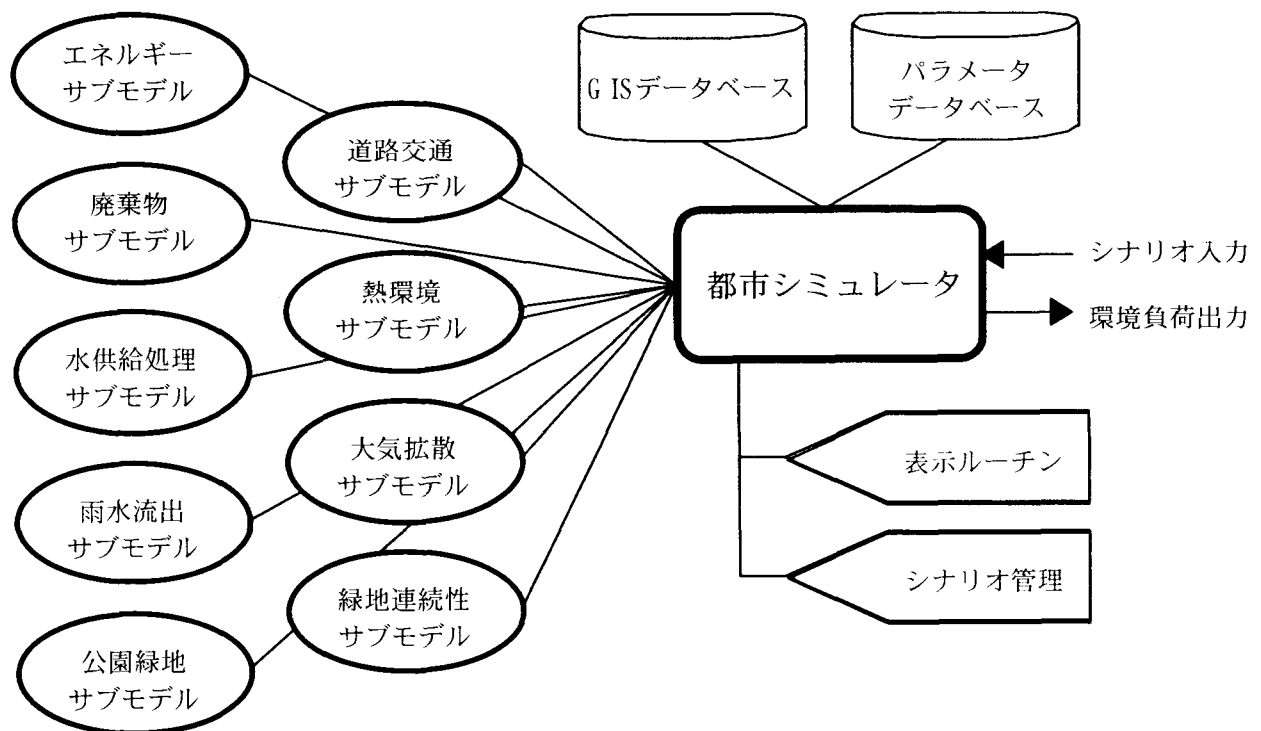


図1 都市シミュレータの構成

都市シミュレータは図 1 に示す構成をしており、9 つのサブモデルを有する。また、GIS データ（地図情報）と結合され、人口などの基本指標や環境負荷などの計算結果は地図上に表示することができるため、空間的な分布や影響がとらえやすい特徴を持つ。従来、行政において個別に管理されてきた都市情報（人口、建物、土地利用、都市施設、供給処理、環境負荷計測など）は、本都市シミュレータにおいて統合的に管理されることになる。言い換えれば、本シミュレータは整合の取れた環境低負荷型の都市を設計あるいは運営するための情報基盤を形成する役割をも担うと期待される。

なお、本プロジェクトでは平成 10 年 12 月に中間的な研究成果報告のため公開シンポジウムを開催するとともに、平成 13 年 3 月に都市シミュレータに関する成果報告を目的とした地方自治体都市計画担当者等を対象としたシンポジウムを開催した。

## 2. 現在までの研究成果報告

### 2.1 成果内容の要約

平成 12 年度においては主として都市シミュレータをとりまとめることを中心課題とした。また、都市シミュレータとして一体化はしていないが都市施設の LCA 評価ツールを別途とりまとめた。実験系ではローエネルギーハウス、中長期蓄熱技術の評価を継続的に行った。

都市シミュレータはプロトタイプの製作および GIS データベースの整備、個別サブモデルの実装、表示ルーチンの作成、パラメータ等必要なデータの整理などを経て開発が進められてきた。今年度はサブモデル間のリンクをとること、シミュレーションシナリオの入力および管理機能とともに、シナリオ間の結果の比較機能を実現した。サブモデルは多段に連結され、ある段の計算を変更した場合にはそれより下位のすべてのサブモデルが再計算される（個別にサブモデル単独で計算することも可能）。最も上位には建物密度および土地利用を修正するルーチンがあり、都市の基本的な構造の変更が指定される。建物移動や道路ネットワークの改変等にマウス入力を可能とするなど、ユーザーが非常に操作しやすいインターフェイスを実装した点はこれまでになく、統合的な都市設計ツールとして極めて先進的なシステムを実現できた。

### 2.2 発表論文等の記載

■Journal of Optics A: Pure and Applied Optics, Vol 2, 2000, pp.112-116.

#### Shaped Nonimaging Fresnel Lenses

2 方向に許容入射半角を有する非結像型フレネルレンズの最適設計を、Edge ray principle を用いて行った。非結像レンズのプリズムは最小ふれ角プリズムになっており、レンズ表面を滑らかにすればレンズ形状は凸状になる。太陽集光器用にレンズを試作し、集光分布及び光学的集光比の特性を明確にした。非結像型フレネルレンズは、太陽集光器、照明機器等への利用が可能であり、必要とされるデザイン性を有し、技術的要求にも応えられる。

■Proceedings of the World Renewable Energy Congress VI, 1-7 July, 2000, Brighton, United Kingdom, pp.832-835.

Nonimaging Fresnel Lenses of Low and Medium Concentration for Cost-Effective Photovoltaic Systems,

集光型太陽光発電は、集光系のコストを太陽電池に比べ十分抑えることができれば、太陽光発電システムのコスト削減が可能である。本研究では平板型システム（1X）と、集光比が 2X、2X 及び 1000X での集光型システムとの比較を行った。非結像型フレネルレンズはコスト削減に有効な集光系であり、中レベル集光システムにおいて最も有効である。

■日本冷凍空調学会論文集, Vol. 17, No. 3, 2000, pp. 313-321.

シリカゲル充てん層内における水蒸気吸着量の予測モデルに関する研究

水蒸気を吸着するシリカゲル粒子充てん層を対象として、熱・物質移動の各要素過程を考慮した複雑な理論計算を行った。この計算の簡易化を目的として、先に得た計算値に基づく層内の圧力分布の予測近似式を作成した。これと層内の物質流れを無視した簡単な計算モデルを組み合わせ吸着量の簡易予測方法を提案した。本方法により吸着量を精度良く予測できることを確認した。

■用水と廃水, 2001年1月号, p43-47.

地理情報システム（GIS）を用いた水循環モデル

本モデルを構築するにあたり、GIS の利用可能性から東京都八王子市を対象とした。画面上で任意に計算地点を設定することができ、八王子市西部を源流に市内の大部分が流域に含まれる浅川やその支流においてさまざまな降雨パターンを与えて流量をモデルによって計算した。その結果、実測値と整合のとれたハイドログラフを表現できた。あわせて本サブモデルを用いて雨水浸透施設の効果を評価した。

■空気調和・衛生工学会論文集, 80, 2001-1, pp.77 86.

自然エネルギーをハイブリッドに活用したエネルギー自律型住宅に関する研究（第3報）数値解析による年間エネルギー収支および土壌熱源ヒートポンプの評価

本論文は、土壌熱源ヒートポンプの利用を中心に据え、自然エネルギーをハイブリッドに活用したエネルギー自律型住宅に関する研究の第3報であり、国内6都市への適用可能性の評価を行ったものである。まず、エネルギー自律型住宅解析プログラムを作成し、各種自然エネルギー利用設備特性の計算値と実験値が良く一致することを検証した。次いで、土壌熱源ヒートポンプの適正容量と導入効果の解析を行い、一次エネルギー削減率が20～50%の範囲となることを示した。さらに、住宅のエネルギー収支に関する検討を行った結果、既報の設備構成によって、検討した6都市においては、ほぼ自給化が可能であることを明らかにした。

■Proceedings of the World Geothermal Congress 2000, May, 2000, 1/1(CD-ROM) 3427 3432.

Low Energy House with Ground Source Heat Pump in Hokkaido

本報は、土壌熱源ヒートポンプを利用したローエネルギーハウスに関する研究であり、実験住宅における井年間の運転実績の整理とその評価を行った。まず、土壌熱を利用した暖冷房システムの実験においては、冷房システム成績係数は9.1、暖房期間の成績係数は4.0と非常に高い値が得られた。次いで、暖冷房、給湯、電力設備システムに関する運転実績を総括し、実験住宅における年間エネルギー利用量の80%が自然エネルギーおよび未利用エネルギーにより賄われることを示した。さらに、従来型住宅との比較を行い、年間購入エネルギー量が12.5%に低減されるとともに、二酸化炭素削減率が77%に達することを明らかにした。

■Proceedings of 8th International Conference on Thermal Energy Storage TERRASTOCK 2000,

Aug., 2000, pp.61 67.

#### Operating Results of Ground Source Heat Pump in Low Energy House

本報は、北海道大学構内に建設したローエネルギーハウスにおける土壌熱源ヒートポンプの運転実績の整理とその評価を行ったものである。垂直型地中熱交換器を利用した4時間間欠冷房実験のシステム成績係数は9.1、土壌熱源ヒートポンプ暖房の期間成績係数は4.0であり、米国におけるエネルギースタンプログラムの基準値を十分満たす結果が得られた。また、従来方式と比較した場合の暖房システムの一次エネルギー削減率は0.34であった。

■ Proceedings of the third International Conference on Cold Climate Heating, Ventilating and Air-Conditioning CCHVAC 2000, Nov., 2000, pp.157 162.

#### Database of Low Energy Houses in the World and Analyses on their Trends

本報では、世界各国における住宅用ローエネルギー手法のデータベースを開発し、地域、文化、政策の異なる各地のローエネルギーハウスを総合的に評価することを目的としている。まず、ローエネルギー手法の体系化を目的としたデータベースを作成した。入力データは7章155項目で構成され、17箇国66件のデータを収録した。高断熱、高气密化と太陽エネルギー利用手法の採用が各国共通に見られる。日本の外壁と窓の断熱性能は、海外の水準を若干下回っている。また、このデータベースから生活排熱利用事例が日本に少ないことと、地下熱利用事例は世界全体の1割未満にとどまっていることがわかった。次に、ローエネルギーハウスの類型化を行い、従来型住宅に対する購入エネルギー削減率の算出を行った結果、太陽熱集熱と太陽光発電を両方採用している住宅の削減率が極めて高いことがわかった。

■ Proceedings of the third International Conference on Cold Climate Heating, Ventilating and Air-Conditioning CCHVAC 2000, Nov., 2000, pp.229 236.

#### Evaluation of a Ventilation System for a Low Energy House

本論文では、多種トレーサガス法の適用事例の一つとして北海道大学構内に建設されたローエネルギーハウスに向けて提案したパッシブ換気システムの年間にわたる評価を行ったものである。スタックとアースチューブは、パッシブ換気に有効であることがわかった。また、夏期においては、上方開放による熱対流型換気の効果が高いことを示した。

■ Proceedings of the third International Conference on Cold Climate Heating, Ventilating and Air-Conditioning CCHVAC 2000, Nov., 2000, pp.463 468.

#### Multi-Component Measurements of Indoor Air Quality in North American Energy-Efficient Residences and Comparison with Those in Japan

本報は、北海道大学による室内空気質の多元計測法を冬期の北米の省エネルギー型住宅に適用し、日本で得られている計測値との比較・検討を行ったものである。その結果、北米の住宅における相対湿度は北海道の一般住宅やローエネルギーハウスよりも全般に低湿であった。自然放射性物質は高濃度傾向にあった。また、その他の項目では、いずれも低濃度傾向にあり、比較的良好な空気環境が得られていると考えられた。

■ 環境システム研究論文集, Vol. 28, 2000, pp.9-19.

ディスプレイ導入による家庭の生ゴミ処理・再資源化システムの評価

ディスプレイを導入することによる都市生活排水及び廃棄物処理システムへの影響を、ライ

フサイクルアセスメント（LCA）及びライフサイクルコスト（LCC）により評価した。導入ケースとして、ディスポーザー対応型浄化槽を設置するケースとしないケースを想定した。浄化槽設置ケースではさらに、汚泥の再資源化としてコンポスト及び乳酸生成を比較評価した。また、階層化意志決定法を用いて、環境影響指標及び経済性指標の他、利便性、資源循環性を加え総合評価を試みた。

■土木学会環境システム研究論文集，Vol.28，2000，pp.69-75.

都市域の家庭の夏季空調エネルギー負荷と家族形態との関連分析

都市域における統合的空調用エネルギー負荷推計モデルの構築を行った。外的要因として室外気温と住宅の総熱貫流率と空調床面積，内的要因として世帯属性別の空調設定温度と空調稼働率を構成要素とする空調用エネルギー負荷推計モデルを構築した。さらに，福岡市を対象とし，「女性の社会進出」と「世帯人員数の低下」といった居住者のライフスタイルの変化を取り上げ，空調負荷に与える影響を定量化した。

■九州大学工学集報，第73巻第3号，2000，pp.247-253.

全国都市のマテリアルストック推計に関する研究

都市のマテリアルストックに着目し，全国都道府県および政令指定都市における都市構造物によるストックを時系列に推計し，それぞれの都市におけるストック増加の特性を定量化した。具体的には，各都道府県および政令指定都市の統計書より，都市構造物に関するデータを時系列に整理し，そのデータを元に各都市のマテリアルストックを推計した。さらに，クラスター分析により都市の類型化を行い，類型ごとの都市構造物のストック量と県民総生産の特性を定量化した。

■土木学会論文集，No.671/VII-18，2001，pp.35-48.

都市建設にともなう総物質必要量の定量化と評価に関する研究 住宅地整備のケーススタディ

マテリアルフロー分析（MFA）の概念を住宅地に適用し，住宅地建設における総物質必要量（TMR）の推計手法の提案と，実際の住宅団地への適用を行った。本推計では，住宅地造成や住宅建築段階で直接投入された建設資材量（直接物質投入:DMI）に加えて，造成や資材生産活動に伴い発生した土壌移動や森林伐採量（隠れたフロー:HMF）を考慮し，代表的な建設資材のDMI，HMF原単位を作成した。さらに，TMR推計手法を日本の都市開発の標準ケースを満たす住宅団地へ適用し，住宅地建設に伴うマテリアルフロー分析を行った。

■5th International Symposium on Advanced Vehicle Control, August 22-24, 2000, pp.705-711.

Motion Control of Electric Vehicles Considering Vehicle Stability

本論文では，電気モータの特徴である一つの動力源で制動側と駆動側のトルクを発生できるといった特徴を利用し，左右輪の駆動，制動力差を用いてヨーモーメントを発生させ，車両の操縦性，安定性を向上させるシステムを提案する。このシステムにおける規範車両特性を，理論的に車両パラメータから決定し，タイヤ，モータの動特性を考慮したより実車に近い車両モデルにおいて，走行条件として厳しい，滑りやすい路面におけるJターン応答，車線変更応答により制御効果を確認する。