

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 東京農工大学工学部 柏木孝夫

Development of Urban Metabolism Systems for Self-closed Cities

Takao Kashiwagi, Professor

Dept. of Mechanical Systems Eng., Tokyo University of Agriculture & Technology

1. 研究の概要

(1) 研究目的

二酸化炭素による温暖化などの地球環境問題とともに廃棄物問題などの地域環境問題への対応が現在の大きな課題となっている。この両者ともに人間活動に基づいていることから都市がその主要な発生源ということが出来る。今後の都市への人口集中などを考えると、個々の活動主体（企業や家庭）における省エネルギー・省資源対策だけでは総合的にみて効率的・効果的とはいいがたい。今後は都市のハードウェア（インフラ）、ソフトウェア（住まい方）の両方の面からより環境への負荷が小さい望ましいあり方を探ることが不可欠である。

その観点から、本プロジェクトでは資源のリサイクルやエネルギーの有効利用、緑地などにより環境負荷を抑えた都市の形成をめざし、それに必要な要素技術、システムの開発とともに環境低負荷型の都市設計を支援するためのシミュレータの開発を目的としている。

(2) 研究内容

環境低負荷型の都市とは、リサイクルの徹底により都市へのインプットが低減されることによって実現される。このような循環型社会が形成されれば外部への依存性も縮小されるため、都市の自立性が高まるものと解釈できる。本研究ではエネルギー・水・マテリアルなどの調和のとれた循環型都市を形成することをめざし、以下のような内容について研究を進めている。

■要素技術開発

- エネルギー： 低温排熱利用技術（熱駆動冷凍機、カーリーナサイクル等）
蓄熱技術（熱駆動水蓄熱、帯水層利用長期蓄熱）
ローエネルギーハウス
- 水： 雨水利用、下水処理水利用による野菜育成、下水汚泥発生抑制
- マテリアル： 廃棄物の分別技術（廃プラスチック分別、塩化ビニル分別など）
- 大気： 植物による大気浄化
低公害自動車の走行特性評価

■モデル開発

- エネルギー： 最適地域エネルギー供給システムモデル
集合住宅における電力消費実態調査
- 水： 雨水利用による流出抑制評価モデル
- マテリアル： 環境コンシャスなライフスタイルと省エネルギー・省資源性評価

都市計画： 都市インフラのライフサイクルアセスメント（LCA）モデル
 緑地による環境負荷低減，都市アメニティ向上性の評価モデル
 都市の熱環境シミュレーションモデル
 貨物輸送を中心とした都市交通対策評価モデル

■都市シミュレータ開発

都市GISデータベースの整備
 都市シミュレータ・プロトタイプの開発

(3) 都市シミュレータの実現

本研究では，個別の要素技術開発および分析モデルを統合化し，コンピュータ上で操作可能な都市シミュレータを実現させることをめざす。都市シミュレータは都市の条件，政策シナリオを入力し，分析モデルによって都市活動をシミュレーションするとともに都市の環境負荷等をビジュアルに出力するものである。都市シミュレータによる評価フローを図1に示す。都市シミュレータは各種の都市データを格納し，都市を総合的にみて省エネルギー的・省資源的に計画するために利用できるものを想定している。ただし，出力の評価は個別都市の考え方に依存するため，評価を行うものではなく，評価のための指標を出力するものである。

また，本プロジェクトの成果として，計画支援ツールである都市シミュレータに加え，環境低負荷型の都市のあり方（コンセプト）を提案・提言する計画である。

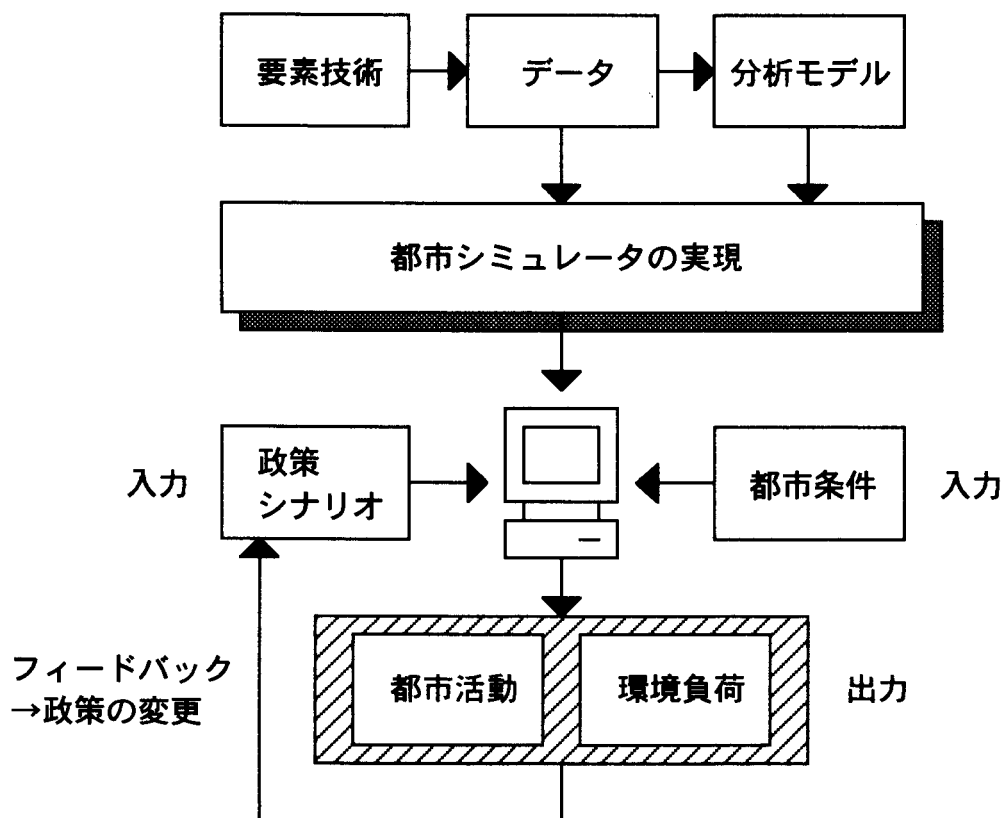


図1 都市シミュレータによる評価フロー

2. 現在までの中間成果報告

2.1 成果内容の要約

(1) エネルギーシステム

省エネルギー型都市の基本的な考え方はエネルギーカスケードを軸とし、高温の熱を低温になるまで多段階に利用することを重視する。また、再生可能エネルギー利用が不可欠である。その観点から次の要素技術について実験やシミュレーションにより性能評価を行った。

- ・廃棄物焼却廃熱など低温排熱による高効率発電（カーリーナサイクル）
- ・低温排熱駆動型吸着冷凍機および吸収冷凍サイクルを利用した常温冷熱輸送
- ・太陽エネルギー利用（吸着工程によるPVパネル冷却、高温集熱器の設計）
- ・蓄熱（ケミカル蓄熱、氷蓄熱）

氷蓄熱については廃棄物焼却廃熱などの低温蒸気を利用したエジェクタによる真空式製氷技術を対象に、実験により基本性能の把握を行い、その有効性を確認した。

システムモデルの開発としては、コジェネレーションを中心とする電力・熱供給システムを想定し、一次エネルギー消費を最小化する最適運用を求める最適化型モデルを開発した。また、東京都周辺から3ヶ所の集合住宅の協力を得て電力の消費量の実測を1年間行い、時間別・月別の需要実態を明らかにした。特に共用部分の負荷を測定した例は他に見られない。

(2) ローエネルギーハウス・長期蓄熱

自然エネルギーを活用した徹底した個別分散化の自立型住宅をめざしたローエネルギーハウスを実際に建築し、その性能を実測により評価した。本ハウスは断熱の強化、太陽電池、太陽集熱器、土中熱利用、蓄熱槽などを装備しており、従来の戸建て住宅の消費エネルギー（外部から購入するエネルギー）を約1/10に低減することを実験的に示した。また、ローエネルギーハウスを全国へと展開した場合の省エネルギー効果と環境保全効果を数値シミュレーションによって検討し、各都市における自立化のレベルを明らかにした。

一方、季節間の熱融通を目的として帯水層を利用した長中期蓄熱の性能を実測した。実験は短期蓄熱、長期蓄熱、それらを組み合わせた年間サイクル運転により、帯水層の蓄熱特性と水質の変化について明らかにする。温蓄熱に関しては、1日サイクルの短期蓄熱運転において約90%、8ヶ月サイクルの長期蓄熱運転では50%の高い熱回収率を達成した。また、冷蓄熱実験では、短期で65%、長期で30%の熱回収率を得た。これらの結果より、帯水層は季節間にわたり貯蔵する長期蓄熱体として非常に有効であることが示された。

(3) 資源リサイクル

資源リサイクルは廃棄物の分別回収技術、雨水・下水処理水利用技術の開発を目的とする。廃プラスチックの分別として遠心式比重差選別を対象に、模擬ゴミや実ゴミによる試験を行った結果、軽量プラスチック側への塩化ビニルの混入率は1%以下であり、各種リサイクルに十分な精度を満足した。マイクロ波加熱による塩化ビニル分別方式についてもその精度、分別の限界などの条件を把握できた。雨水利用としては光触媒を用いた消毒技術の性能を評価した。その結果、従来の紫外線消毒では後に光回復（菌の増殖が再開する）現象が見られるのに対し、光触媒を用いた本方式では光回復が発生せず効果的な消毒が可能であることを実証した。その

他、オゾン処理により下水汚泥を90%以上消滅できること、二次処理水によりリーフレタスなどが十分栽培可能であり窒素・リンの除去に有効であることを実験的に明らかにした。また、雨水利用の評価のため河川の流出解析モデルを構築し、計算値と実測値の比較により精度を確認した。これにより雨水利用による洪水抑制効果の価値を定量化することをめざしている。

(4) 都市計画

自立型都市インフラの概念設計、緑地、交通システムの3つの観点から環境低負荷型都市が備えるべき内容の分析を進めている。自立型都市インフラとしてはエネルギー系・廃棄物系・水循環系を対象に実態調査、現状の課題整理を行い、自立型都市が持つべきインフラの枠組みを把握した。緑地評価は都市における緑地の役割を評価するモデルを作る目的で、緑地が都市空間、人、都市アメニティに与える効果の体系を整理するとともに、定量的に評価するための指標をリストアップし、モデル都市について試算した。また、樹木による大気汚染物質の吸収効果について、さまざまな樹種を用いて実験した。その結果、樹種によらず蒸散速度とオゾン吸収速度には同じ比例関係が成立することが見い出された。さらに、土地被覆状態が都市内の熱環境に与える影響を把握するため、熱環境解析モデルを作成し、試算を行った。交通評価としては東京大都市圏のパーソントリップ調査結果に基づいた交通配分モデルを作成し、貨物輸送を対象として貨物専用道路やレーンを設ける等の対策を評価し、貨物対策の課題を把握した。また、低公害自動車（電気自動車）の走行シミュレーションモデルを開発し、都市内走行状態を様々に模擬できることを可能とした。

(5) ライフスタイル

住民のライフスタイルと省エネ行動との関連性を把握することはライフスタイルの誘導を考える上で不可欠である。そこで、住居の周辺環境や環境保全に対する意識等とエネルギー消費のデータをアンケート調査し、解析した結果、類型化された意識とエネルギー消費の間にはある程度の相関が認められることが判明した。この点はライフスタイルの観点から都市環境整備に対する示唆を得ることにつながる。

また、都市インフラのLCAとして下水道、廃棄物処理システム、道路、地下鉄、ディスプレイシステムなどについて評価を行い、都市整備に関わる基本的な諸量の原単位を整備した。

(6) 都市シミュレータ

前述のサブテーマをとりまとめる「都市シミュレータ」のプロトタイプの開発を行った。開発に当たり、データ収集の制約を考慮してケーススタディ都市として八王子市を選定し、各種都市情報、交通データやGISデータベースの入手を進めた。プロトタイプとしてGISデータを操作する機能、画面表示機能などを作成するとともに、エネルギーシステムサブモデルを組み込み、対象地域の指定・負荷推定・システム最適化・省エネルギー可能性評価などの一連の操作が可能なシステムをパソコン上に実現した。また、廃棄物のリサイクルを評価するためのサブモデルを試作した。これらのサブモデルは現状では機能的に独立しているが、今後統合化しサブモデル相互の連関などを考慮できるよう発展させる計画である。

2.2 発表論文等

本郷 賢, 小林久晃, 山本協子, 亀山秀雄, ベンチスケール水蒸気排気式ヒドロゲル氷蓄熱槽の運転—ゲルユニットの製氷および冷熱取り出し—, 化学工学論文集, Vol.24, No.6, pp.815-821, 1998

水蒸気排気式氷蓄熱用に40リットル規模のヒドロゲル氷蓄熱槽を構築した。実用に適したゲルユニット形状決定を目的に検討を行い次の結果を得た。(1)ゲルユニットの大きさはゲルの蒸発表面積あたりの水蒸気速度が $5.7\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ 以下となるように設計すれば, ユニット内温度分布が一定で均一に製氷できる。(2)直径30mmの円柱状ゲルおよび球状ゲルユニットでは実用速度で均一製氷ができ, 冷熱取り出し速度も早い。(3)40リットルの円柱状および球状ゲルユニットを充填して行った冷熱取り出しの実験から次のa)からc)を示した。a) 直径30mm, 長さ250mmの円柱状ゲルユニットでは58%の氷充填率が得られる。b)2.5~4℃の冷水が取り出せた。さらに槽高さを増すことでより低温の冷水が得られる。c)冷熱取り出し速度を操作することにより0.58kWの熱需要にも十分に耐えられる。

井村秀文・谷川寛樹, 都市における市民の環境意識とエネルギー消費行動, 環境工学連合講演論文集, Vol14, pp.65-72, 1999

ライフスタイル評価に関する既存研究を調査・整理し, 都市の微気象と居住者の意識, エネルギー消費に関する枠組みを示した。さらに, 福岡市, 大野城市の2都市をケーススタディ対象としてアンケート調査を実施し, この調査結果をもとに, 世帯属性, 周辺の熱環境に対する意識, 環境への配慮意識の面からエネルギー消費特性について分析した。本研究における各解析結果は, 福岡市, 大野城市の2都市のみを対象としたアンケート調査に基づくものであるが, 我々の生活する住居の位置や周辺環境に対する意識, 環境に対する意識が実際のエネルギー消費にどのように関係, あるいは影響しているかを定量的に示したものであり, 今後, 両者の関係を探る上での手がかりになるものと思われる。

白濱康弘・谷川寛樹・松本亨・井村秀文, 都市インフラストラクチャーを対象としたMIPS評価システムの構築に関する研究, 環境システム研究, Vol. 26, pp.383-389, 1998

都市インフラの整備に伴うエネルギー・マテリアルフロー及びそれに伴って発生するサービスをLCAデータベースを利用して定量化する。エネルギー・マテリアルフローについては, 上述のボトムアップアプローチを用いて定量化を行う。サービス発生量の定量的手法には, 様々な地域の比較や, 汎用性のある指標づくりを目指すため, 物量的評価を用いたサービス量の定量化を行う。ここで, 建築物や道路・下水道システムといった都市内インフラによるエネルギー・マテリアルフローとこれが提供するサービス量を算定するには, 施設単位における活動量を把握する必要がある。そのため, GISを用い, 施設の位置・規模・活動内容を地図データ化して解析した。

M.Nagai, M.Shino, Y.Oshiumi, Traction Force Control of Parallel Hybrid Electric Vehicle by Using Model Matching Controller, International Symposium on Advanced Vehicle Control '98, September 14-18, 1998, Nagoya Congress Center

現在、都市環境の悪化が大きな問題となっており、電気自動車（以下、EV）やハイブリッド電気自動車（以下、HEV）のような低公害車の普及が望まれている。ところが低公害車の普及という面から見ると、現状のEVは（1）一充電走行距離が短く、（2）充電設備を敷設する必要があるといった普及を阻害する要因を持っている。そこで本研究では、そのような欠点をもたないパラレル型HEVに注目し、駆動力性能を対象としたエンジンとモータの特性を有効に発揮させる新しい制御方法として、モデルマッチング制御理論を適用した駆動力制御法を提案し、その有効性と走行性能について検討した結果について述べる。

3. 今後の研究の方向

本プロジェクトは当初3年間で個別要素技術開発に重点をおいた研究を進め、後半2年間は個別技術や各種評価モデルをとりまとめて都市シミュレータを開発する方に比重を移す計画である。それと合わせて、自立型都市のコンセプト、自立型都市インフラの考え方を確立させ、シミュレータを用いてモデル都市に関するケーススタディを行う。

要素技術の基本的な性能の把握を概ね終了し、後半2年間で行う技術開発的内容としては、各サブテーマのフォローアップとともに、ローエネルギーハウスおよび長中期蓄熱技術の開発について実施する。ローエネルギーハウスの建設と評価では、蓄熱を介した暖冷房・給湯システムの複合効果を実験と解析の両面から明らかにするとともに、国内各都市における導入効果をLCAとペイバックタイムの観点から評価し、最適なシステムの組み合わせを検討する。また、地域特性に応じた設計指針を構築するとともに、国内各都市における戸建て住宅に関しての未来型の原単位を提案する。長中期蓄熱システムの開発では、長期にわたる蓄熱サイクル特性を実験的に明らかにするとともに、集合住宅、事務所、学校、病院などの各種建築物、さらにそれらを複合化したコミュニティへの導入効果を検討し、広域規模のエネルギー代謝システムのあり方を提示し、その有効性の評価を行う。

これまで行った個別要素技術の開発からは都市シミュレータに入力する技術データ（機器効率など）が提供される。その意味で都市シミュレータの観点から要素技術開発の結果を整理・とりまとめる。また、評価モデルはシミュレータ内にサブモデルとして組み込まれる。その他、エネルギー需要データなどフィールド調査により収集したデータは、シミュレータのデータベースとして蓄積される。現在、エネルギーサブモデル、廃棄物サブモデルが作成されており、今後水サブモデル、緑地サブモデル、交通サブモデル、熱環境サブモデル、都市インフラLCAサブモデルなどを追加していく計画である。シミュレータのサブモデルは、従来は個別に独立して計算されており相互のトレードオフ関係などが考慮されていないのに対し、ここではサブモデル間のリンクをとることが大きな特徴である。現在、シミュレータ・プロトタイプの開発を通じて、モデル間のすり合わせについて議論を進めている。

今後はシミュレータのインターフェイスなど使用面における改善を進めるとともに、機能的な拡充を図る。また、都市計画担当者が都市シミュレータの基盤となる環境低負荷型の都市像を明確化できるようにコンセプトを確立させる予定である。