

## 都市における分散型代替エネルギー供給システムの連携導入評価ツールの開発

Development of tool for integrated implementation of alternative energy supply in urban area

川原 博満 \*

花木 啓祐 \*

Hiromitsu KAWAHARA\* and Keisuke HANAKI\*

**ABSTRACT** ; This paper presents an example of analyzing system which evaluates optimized locations based on conformity between heat demand and alternative energy supply. In order to evaluate the optimized location, it is necessary to evaluate distribution of demand of heating/cooling and energy and potential supply of urban heat. Heating/cooling demand depends on climate and building use and floor area. Data on spatial distribution of floor area of each building use is not available except for a few large cities such as Tokyo. This paper proposes a method for providing spatial distribution data of floor area of each building use based on digital city map and digital telephone directory data in this system. Moreover, with using this system, method to estimate possibilities and effects of implementation of alternative energy system in urban area is proposed.

**KEYWORDS** ; *alternative energy, energy supply, integrated implementation, district heating and cooling, life cycle analysis*

### 1. はじめに

地球環境問題を背景にエネルギー供給構造の転換がますます必要となってきた今日、自然エネルギーやリサイクル型エネルギーなどの代替エネルギー有効利用技術の研究、開発がなされ、地域冷暖房などで利用されている。しかしながら、これら代替エネルギーの利用は、その賦存量に比較すれば十分利用されているとはいえない。利用設備導入に係るコストの問題もさることながら、これらのエネルギー分布密度が低いことにも起因して、単独エネルギーシステムとして十分に周囲のエネルギー需要に応えることが難しいというのが現状である。

我が国では、エネルギー消費活動のほとんどが都市域で行われている。このような地域では活発な都市活動に比例し、排出されるごみの焼却熱や下水熱に代表されるリサイクル型エネルギー賦存量の分布密度は高くなり比較的利用し易くなる。さらに、自然エネルギーの利用をも含め、複数の代替エネルギーを効率良く組み合わせることにより、安定したエネルギー供給を行う連携導入が可能となり、効率性や経済性の面で優位性を十分発揮することができると考えられる。

本論文では、このような自然エネルギーやリサイクル型エネルギーなどの代替エネルギーを連携導入する際のシナリオを評価する解析ツールの構築を試みる。さらに、今回取り扱う自然エネルギー賦存量は都市の気候や地理的特性と関連が深く、リサイクル型のエネルギー賦存量は都市の規模や構造と関連があることを考慮して、気候・地理特性や都市の規模・構造など、地域特性ごとのシナリオの相互評価も可能にする。したがって、解析ツールはできるだけ多くの都市に適用することを前提に構築を試みる。

以上より、解析に用いるデータは、全国なデータとして整備され、かつ入手が容易なものを可能な限り利用することを基本として構築し、エネルギー解析と連動する空間解析のエンジンとして、都市の構造を空間的に把握するのに有効なツールである一般的な地理情報システム (GIS) を用いることとした。

今回、北九州市での例をもとに、都市における分散型代替エネルギー供給システムの連携導入評価ツールの構築事例を示し、今後の課題を考察する。

---

\* 東京大学工学系研究科都市工学専攻 Department of Urban Engineering, The University of Tokyo

表 1 都市内で取得可能な代替エネルギーの種類

| 代替エネルギー         |     |    | 取得可能位置     | 利用形態 | 利用例                       |
|-----------------|-----|----|------------|------|---------------------------|
| 自然エネルギー         | 太陽  | 光  | 建物屋上等      | 電力   | 太陽光発電等                    |
|                 |     | 熱  | 建物屋上等      | 熱    | アクティブソーラシステム、パッシブソーラシステム等 |
|                 | 風力  |    | 建物屋上等      | 電力   | マイクロ風車等                   |
|                 | 温度差 | 河川 | 河川水取水場     | 熱    | 河川水の温度差を利用した熱供給           |
|                 |     | 海  | 海水取水場      | 熱    | 海水の温度差を利用した熱供給            |
| リサイクル型<br>エネルギー | 廃熱  | 工場 | 工場         | 電力、熱 | 工場廃熱を利用した発電、熱供給           |
|                 |     | 下水 | 下水処理場、ポンプ場 | 熱    | 下水の温度差を利用した熱供給            |
|                 | 廃棄物 | ごみ | ごみ焼却場      | 熱    | ごみ焼却熱による発電、熱供給            |
|                 |     | 下水 | 下水処理場      | 熱    | 下水処理消化ガス等による発電、熱供給        |

## 2. 評価の方法

解析の目的は、都市内の一次エネルギー投入量および環境負荷を削減するために、表 1 に示す都市内に散在する自然エネルギーやリサイクル型エネルギーの複数代替エネルギーの活用可能性を評価することにある。評価にあたっては、気候、地理、都市の規模および構造の特性による影響が顕著に顕われる熱の需要と供給に焦点を絞り、地域冷暖房で熱供給を行うことを前提とした上で、代替エネルギー活用の有無および活用方式の異なる複数の導入シナリオをもとに、一次エネルギー投入量削減効果や環境負荷削減効果の評価を行うものとする。評価までの解析手順を 3 章に示す。

## 3. 解析の手順

本研究全体の解析手順を図 1 に示す。解析フローの概要を次節に示す。解析ツールは各作業項目の支援を行うものとして構築し、図中の下線で示した本解析ツールの特徴となる作業項目の詳細を 4 章に示す。

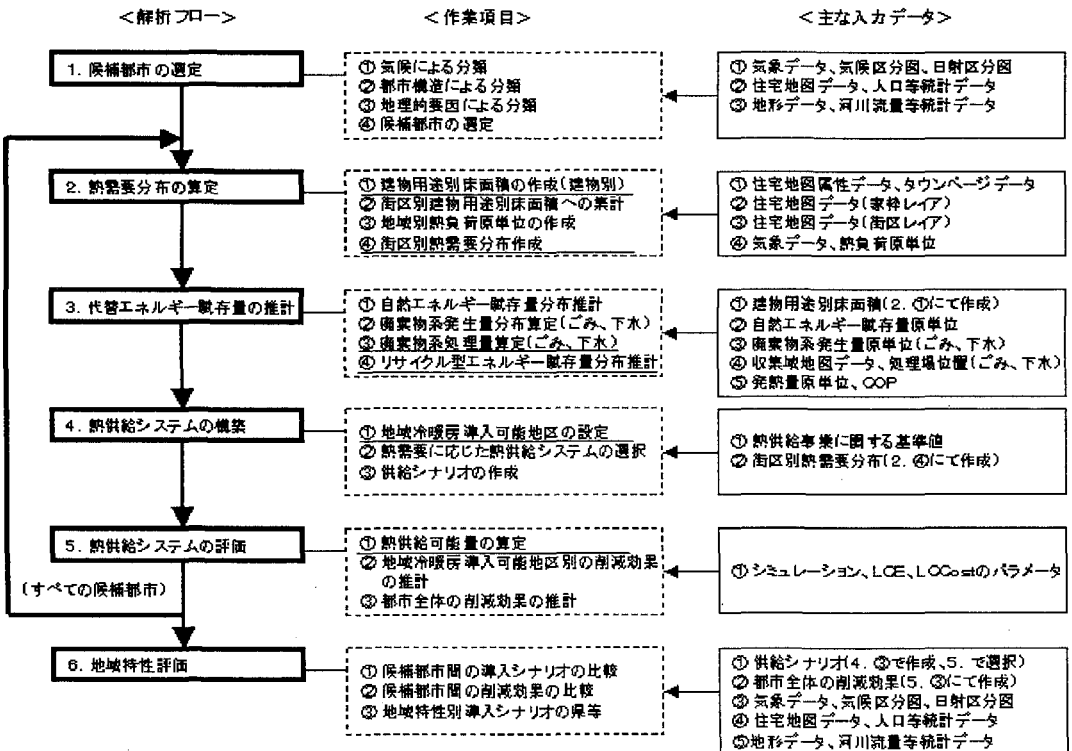


図 1 解析手順

### 3.1 候補都市の選定

気候・地理特性や都市の規模・構造など、地域特性ごとの熱供給システム導入シナリオの相互評価を最終ステップで行うことを考慮して、地域特性の影響が把握できるように候補都市の選定を行う。選定にあたっては、日本の気候区分<sup>1)</sup>、太陽エネルギーの利用などに用いられる日射気候区分<sup>2)</sup>および省エネ法の規定に基づく区分<sup>3)</sup>、気象データ、地理情報、その他統計データなどをもとに選定する。

### 3.2 熱需要量分布の算定

熱供給を地域冷暖房として行う場合、地域冷暖房導入可能地区を設定する上で熱需要量分布は重要な情報である。既存の都市への導入では現状の都市構造から熱需要量を算定したものを用い、再開発や新規開発の地域への供給では計画値を用いる。前者においては実際に詳細な調査を行う場合もあるが、多くの場合には、自治体で調査・保持している建物用途別床面積情報に熱負荷原単位を乗じて算出することが多い。本研究でもこれに準ずるが、建物用途別床面積に関しては建物別および街区別に求める新たな推計方法を試みた。

### 3.3 代替エネルギー賦存量の推計

代替エネルギーの推計も熱需要量の場合と同様に、基本情報に各種原単位を乗じて求める。自然エネルギーに関して、太陽エネルギーの場合には屋根面積が基本情報となり、河川の場合には流量であり、海の場合には海水の量は無限に使用できると仮定した上での処理量が基本情報に当たる。これらの基本情報に賦存量原単位に当たる係数を乗じて自然エネルギーの賦存量を推計する。一方、リサイクル型エネルギーは、ごみ・下水などの発生地点とエネルギー回収可能位置が異なるため、建物用途別床面積にごみ・下水の発生原単位を乗じて、これらの発生量分布を求めた後、ごみ収集域や下水流域にしたがって集計し、ごみ焼却場あるいは下水処理場の処理量とした後、発熱量原単位などを乗じてリサイクル型エネルギーの賦存量を推計する。

### 3.4 熱供給システムの構築

熱供給システムの構築とは、3.2 節において求めた都市内に分布する熱需要に応じて、代替エネルギーを効果的に導入した地域冷暖房の導入シナリオを作成することである。しかしながら、熱需要量分布だけでは、地域冷暖房を導入する供給場所および供給面積を直接抽出することはできない。そこで、温熱需要分布から地域冷暖房導入可能地区を抽出するために、既存の地域冷暖房指導要綱等にある地域冷暖房地域の指定要件をもとに、地域冷暖房導入可能地区を設定する。導入シナリオはこの地域冷暖房導入可能地区すべてに地域冷暖房を導入するものとし、代替エネルギーの利用が可能な地区ではこれを極力導入することとする。この時、利用する代替エネルギーの組み合わせにより幾つかの導入シナリオが考えられる。

### 3.5 熱供給システムの評価

3.4 節で作成したある導入シナリオに対して、すべての地域冷暖房導入可能地区における供給可能熱量、一次エネルギー投入量削減効果および環境負荷削減効果を求め、都市内すべての地域冷暖房導入可能地区の効果をまとめることで、この導入シナリオの都市全体に対する効果とする。また、すべての導入シナリオに対して、これらのことを行い、候補都市としての効果的なシナリオとする。

### 3.6 地域特性評価

最後に、複数候補都市に代表される導入シナリオを用いて、各代替エネルギーと気候・地理特性や都市の規模・構造などの地域特性との関連を検討する。

## 4. 解析ツールの構築

これまで述べてきた解析を比較的簡単に行うために、解析ツールの構築を試みた。この節では、この解析ツールの概要を述べると共に、新たに試みた手法について述べることにする。

なお、解析ツールは、データ管理部・解析ツール部・データベース部・GIS部の4つの部分から構成され、パーソナルコンピュータ（DELL DIMENSION D333:WindowsNT Workstation4.0）上に構築を試みた。ツールの構築に当たってはデータ管理部・解析ツール部をMicrosoft VisualBasic5.0により作成し、データ



図2 解析ツールの画面

ベースに Microsoft Access97、GIS 部に Informatix S I S4.1 を用いた。解析ツール画面を図2に示す。

#### 4.1 建物用途別面積情報の作成

図1の解析手順2. ①で用いる建物用途別面積情報は、熱需要量や代替エネルギーの賦存量推計の際に用いる最も重要な基本データである。さらに、地域特性別の導入シナリオの分析精度を高める意味からも、可能なかぎり多くの都市での解析に利用できるものとして整備したい。筆者らはこれまで東京都で作成された建物用途別面積情報を用いた熱需要量の分布や代替エネルギーの賦存量推計を行っているが、このような建物用途別面積情報は東京都をはじめとする幾つかの自治体で調査・保持されているのみであり、地方都市での入手は困難である。以上のことから、今回、より多くの都市に適用可能な建物用途別面積情報作成の新しい手法の構築を試みた。以下にその概要を示す

まず、建物用途別面積情報の基本的要件は、建物面積 (m<sup>2</sup>) と建物用途である。そこで、これらの情報を保持している (株) ゼンリンの ZmapTOWN II<sup>4)</sup> と NTT のタウンページデータ<sup>5)</sup> に注目した。前者には、図3に示すように建物別の情報としてビル・アパート名、氏名などの名称をはじめ、建物階数、住所などが登録されている。また、ビルなどのように複数のテナントを持つ場合には、階、室番号、氏名の別記情報が、

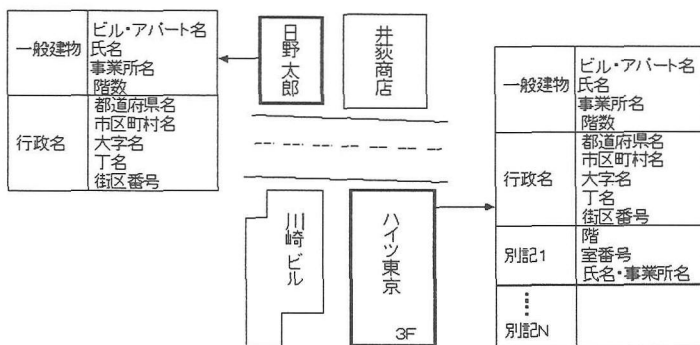


図3 ZmapTOWN II の概要

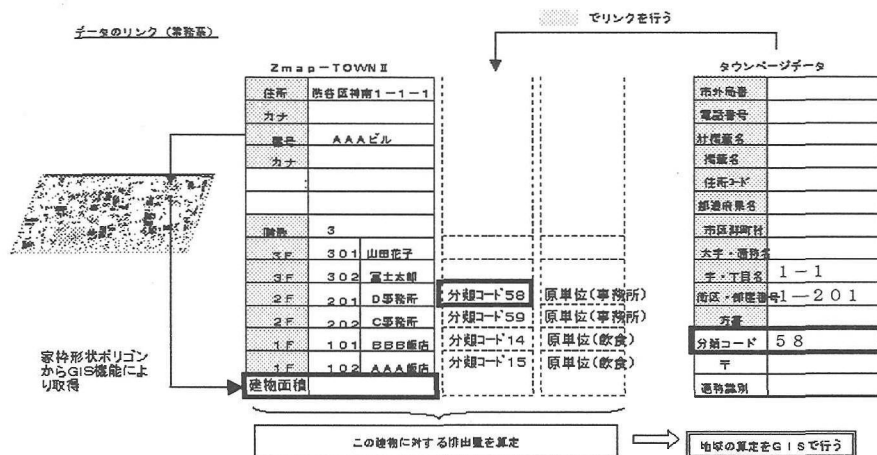


図4 建物用途別面積情報に関するデータの関連

テナントの数だけ格納されている。また、建物単位の面積情報は建物形状ポリゴンデータからGISの機能を利用することにより取得することが可能である。

一方、後者には電話番号、住所、掲載名および業種分類コードなどが登録されており、NTT独自のコードとして1650業種に分類されている。

建物用途別面積情報を求めるにあたっては、ZmapTOWN IIの属性情報、GISにより取得した建物面積情報およびNTTタウンページの業種分類コードを図4に示すように関連付けて求めた。ZmapTOWN IIの属性情報とNTTタウンページの業種分類コードの関連付けには図中のハッチング部分を用いた。

また、NTTタウンページにない住居系の建物に関しては、アパート名、氏名、階数などから関連付けを行った。図5に小倉駅周辺において建物別に集計した建物用途別面積情報を示す。さらに、地域冷暖房導入単位を街区単位評価するために、建物別の情報も街区別に集約しておく必要があるが、これはGISの機能により容易に行うことができる。図5と同一地域に対して街区別に集計した建物用途別面積情報を図6に示した。地域冷暖房導入可能地区が街区単位の温熱需要分布を必要とすることから、これ以降の解析単位を街区単位とする。

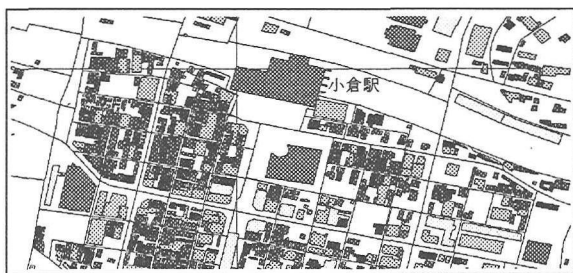


図5 建物別に集計した建物用途別面積情報の表示

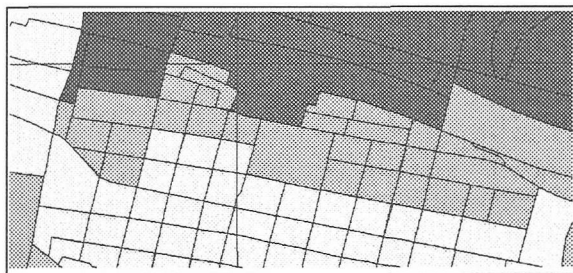


図6 街区別に集計した建物用途別面積情報の表示

#### 4.2 街区別熱需要量分布の算定

熱需要分布は地域冷暖房導入可能地区を選定する上で重要な中間的な情報である。これは、図6で示した街区別に集計した建物用途別面積情報に気候特性を考慮した熱負荷原単位を乗じて求めた。気候特性を考慮した熱負荷原単位はディグリーデイなどの指標を考慮したものを用いた。

4. 3 廃棄物系処理量算定

ごみ焼却場および下水処理場における年間収集量および年間流入量は、街区単位の建物用途別床面積にごみおよび下水の発生原単位を乗じて発生量の分布を求めた後、ごみの収集域および下水処理区毎に集約・配分および集約・統合処理を行うことにより求めることができる。これらの基本的な考え方は、一ノ瀬ら<sup>6)</sup>にも示したが、基本情報となる建物用途別床面積の単位を街区として評価することや、収集域および下水処理区にポリゴンデータを用いることなど異なるアプローチを試みた。

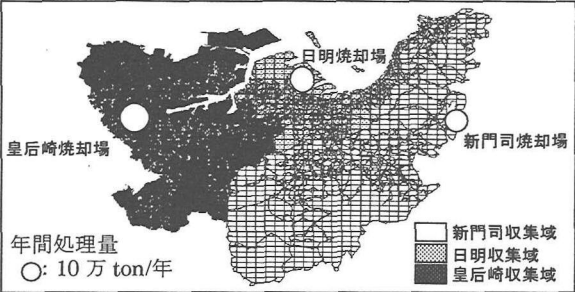


図 7 ごみ焼却場情報の表

図 7 に北九州市におけるごみ焼却場に関する情報の表示例を示した。ごみの収集量算定は、街区ポリゴン毎に搬入先のごみの焼却場との関連付けを行ったファイルを作成し、これにしたがって街区ごとのごみの発生量を集約し求めた。図中の 3 段階に塗り分けられたポリゴンはこの時作成した収集域を表示したものである。図中の白丸は各ごみ焼却場の位置および集約計算により求めた処理量を示したものである。

4. 4 リサイクル型エネルギー賦存量の推計

リサイクル型エネルギー賦存量は 4.3 節で求めたごみ焼却場および下水処理場における年間収集量および年間流入量を用いて、表 3 の代替エネルギー賦存量の式により求めた。なお、自然エネルギーの賦存量も同様の方法で求めることが可能である。

表 2 年間熱賦存量推定式

| 代替エネルギー     |     |    | 賦存量推計式(Tcal/年)                                                  |
|-------------|-----|----|-----------------------------------------------------------------|
| 自然エネルギー     | 太陽  | 光  | —                                                               |
|             |     | 熱  | モジュール設置面積(m2) × 全天日射量(kJ/m2・日) × 日照時間(h/月) × 集熱効率               |
|             | 風力  | —  | —                                                               |
|             |     | —  | —                                                               |
| リサイクル型エネルギー | 温度差 | 河川 | 年間流量(m3/年) × 利用率(5%) × 比熱(1Mcal/m3・℃) × ヒートポンプ温度差(℃)/1,000,000  |
|             |     | 海  | 年間処理量(m3/年) × 比熱(1Mcal/m3・℃) × ヒートポンプ温度差(℃)/1,000,000           |
|             | 廃熱  | 工場 | 建物用途別床面積(m2) × 業種別廃熱量原単位(Mcal/m2・h) × 年間稼働時間(h)                 |
|             |     | 下水 | 年間流入量(m3/年) × 比熱(1Mcal/m3・℃) × ヒートポンプ温度差(℃)/1,000,000           |
|             | 廃棄物 | ごみ | 年間収集量(t/年) × 焼却熱原単位(1.8Gcal/t・年)/1,000                          |
|             |     | 下水 | 年間流入量(m3/年) × 廃棄物混入率(kg/m3) × 焼却熱原単位(2.0Gcal/t・年)/1,000(乾燥課程除く) |

4. 5 地域冷暖房導入可能地区の設定

本研究では、特定の地域に対して、地域冷暖房を導入する際の代替エネルギー導入の有無による一次エネルギー削減効果および環境負荷の削減効果を評価することを目的としていることから、この地域冷暖房導入可能地区の抽出結果により、一次エネルギー削減効果および環境負荷の削減効果は大きく違ってくると考えられる。

地域熱供給を導入することのできる区域は、例えば東京都<sup>7)</sup>などでは、法定容積率 400%以上の近隣商業地域、商業地域および準工業地域とされている。また、これらを考慮した上で、佐土原ら<sup>8)</sup>は表 3 のように地域冷暖房導入可能地区抽出条件を求めている。

本研究では、街区単位に建物用途別床面積情報の作成、熱需要量の算定を行うことを前提にしていることから、表中の既成市街地：床面積データ有りの場合のものを参考に、街区别の地域冷暖房導入可能地区を図 8 のように設定した。なお、ここでは小倉駅周辺に対して、地域冷暖房導入可能地区を大字区毎に表示している。

表 3 佐土原らによる地域冷暖房導入可能地区抽出条件

| 地区の種類     |          | 抽出の基準                                          |
|-----------|----------|------------------------------------------------|
| 既成市街地     | 床面積データ有り | ・熱負荷密度 1.0Tcal/ha・年以上<br>・地区面積 2.5ha 以上        |
|           | 床面積データ無し | ・法定容積率 500%以上<br>・地区面積 2.5ha 以上                |
| 再開発・新開発地  |          | ・グロス容積率 100%以上<br>・床面積 25,000m <sup>2</sup> 以上 |
| 建替え想定住宅団地 |          | ・建築後 30 年以上<br>・規模 1000 戸以上                    |

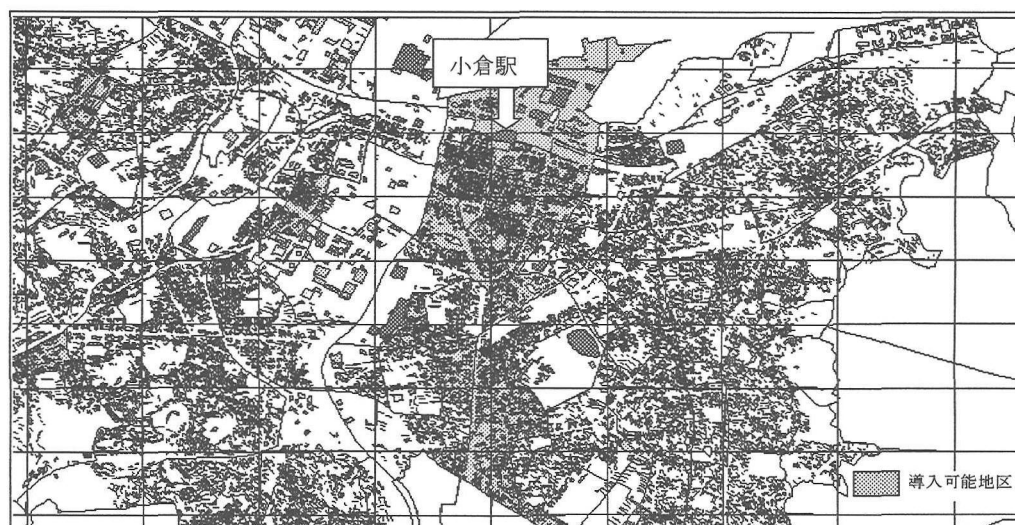


図 8 地域冷暖房導入可能地区

#### 4. 6 熱供給可能量の算定

熱供給可能量の算定では、図 8 に示した地域冷暖房導入可能地区毎に、地域冷暖房としての熱供給可能量を求める。特に、代替エネルギー利用するシナリオによる地域冷暖房としての熱供給可能量の算定は、表 4 に示した熱供給システムを利用するものとして熱供給量の計算を行う。ここで、熱需要のうち、温熱需要と冷熱需要の割合は地域によって大きく異なるが、熱需要量の算定の段階で考慮している。

表 4 熱として利用可能な代替エネルギー種類

| 代替エネルギー     |     | 供給可能位置 | 供給システム                             |
|-------------|-----|--------|------------------------------------|
| 自然エネルギー     | 太陽  | 光      | —                                  |
|             |     | 熱      | 建物屋上<br>給湯システム、アクティブ冷暖房(個別利用)      |
|             | 風力  | —      | —                                  |
|             |     | —      | —                                  |
| リサイクル型エネルギー | 温度差 | 河川     | 河川水取水場<br>熱交換機→水熱源ヒートポンプ→温熱、冷熱     |
|             |     | 海      | 海水取水場<br>熱交換機→水熱源ヒートポンプ→温熱、冷熱      |
|             | 廃熱  | 工場     | 工場<br>廃熱ボイラー熱交換器(吸収式)→温熱(冷熱)       |
|             |     | 下水     | 下水処理場、ポンプ場<br>熱交換機→水熱源ヒートポンプ→温熱、冷熱 |
|             | 廃棄物 | ごみ     | ごみ焼却場<br>廃熱ボイラー熱交換器(吸収式)→温熱(冷熱)    |
|             |     | 下水     | 下水処理場<br>廃熱ボイラー熱交換器(吸収式)→温熱(冷熱)    |

図9は北九州市の皇后崎焼却場における熱供給可能量の算定結果である。現在、スーパーごみ発電を導入している皇后崎焼却場<sup>9)</sup>では、焼却熱のほとんどは発電に当てられており、図中の黒枠区域の市施設に対して、温熱の供給がわずかに行われている。

熱供給可能量の算定結果からは、周囲のかなりの範囲に対して、熱供給が可能である。実際に、同焼却場は近郊の駅再開に際して熱の供給を考えており、早期実現が期待されるところである。

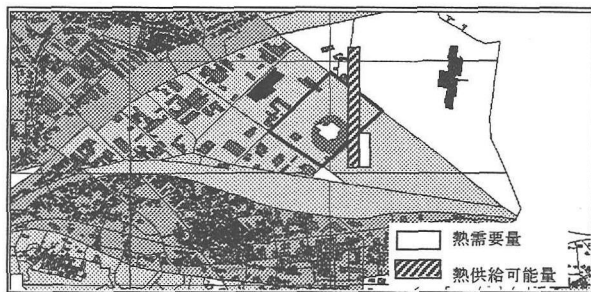


図9 地域冷暖房導入可能地区

## 5 解析ツールの評価と今後の課題

本解析ツールの基本データとなる建物用途別床面積の作成を新たに試みた。改良の余地は多くあるものの、これを基本データとする一連の解析ツールの構築は可能であると考えられる。さらに、今回提示した一連の手順とそれを支える解析ツールによって、様々な条件におかれた都市に対して分散型のエネルギーを導入する可能性とその効果を評価する道筋を示すこともできた。今後の課題としては、基本データ作成の際の煩雑さを軽減し、精度を上げるとともに、他の都市へ適応し易いものとしていく必要がある。さらに、解析ツールに使用している各種パラメータや計算手法の再検討は今後も引き続き行っていく必要がある。

### おわりに

本研究では、都市における分散型代替エネルギー供給システムの連携導入評価ツールの開発を試み、一部の代替エネルギーを用いて解析ツールとしての機能の評価を行った。今後更に、他の代替エネルギーに対する情報整備を行い、最終的なシステムの完成を目指すと共に、できる限り多くの候補都市間の導入シナリオを相互比較・検討するとともに、地域特性を指標とする代替エネルギー導入シナリオの提示を行いたい。

### <参考文献>

- 1) 株式会社 国勢社：日本国勢図絵 CD-ROM '98/99 第2版
- 2) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：太陽光発電導入ガイドブック
- 3) 住宅に係わるエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断の基準：通商産業省・建設省 告示第2号、平成4年2月
- 4) 株式会社ゼンリン：Zmap-TOWN II 説明書、1994年11月
- 5) NTT情報開発株式会社：'99タウンページデータベース業種分類一覧表、平成11年3月
- 6) 一ノ瀬俊明・川原博満・花木啓祐・松尾友矩：下水熱有効利用可能性解析ツールとしてのGISの開発、土木学会論文集 No.552/VII-1 pp11-21
- 7) 東京都環境保全局：地域冷暖房推進に関する指導要綱、平成3年4月
- 8) 砂土原聡・長野克則・三浦昌生・村上公哉・森山正和・下田吉之・片山忠久・依田浩敏・北山広樹：日本全国の地域冷暖房導入可能性と地球環境保全効果に関する調査研究、日本建築学会計画系論文集No.510, 61-67, 1998
- 9) 北九州市環境局：平成10年度事業概要、平成10年10月