

低炭素都市形成に向けた  
都市計画とエネルギー政策の連携に関する研究  
ー エネルギー面的利用に資する市街地整備の方向性ー

2014年1月

千葉大学大学院工学研究科  
建築・都市科学専攻都市環境システムコース

石河 正寛

(千葉大学審査学位論文)

低炭素都市形成に向けた  
都市計画とエネルギー政策の連携に関する研究

－ エネルギー面的利用に資する市街地整備の方向性－

2014年1月

千葉大学大学院工学研究科

建築・都市科学専攻都市環境システムコース

石河 正寛

## 目次

|  |     |
|--|-----|
| 序論.....                                      | 1   |
| 0-1 研究の背景.....                               | 1   |
| 0-2 研究の目的・手法・視点.....                         | 3   |
| 0-3 既往研究と本研究の位置付け.....                       | 5   |
| 0-4 研究の構成.....                               | 6   |
| 第1章 大都市における「エネルギー面的利用」の取組み.....              | 10  |
| 1-1 都市規模別に見る民生部門 CO <sub>2</sub> 排出量の状況..... | 11  |
| 1-2 政令市および特別区における「エネルギー面的利用」の施策具体化状況.....    | 16  |
| 1-3 まとめ.....                                 | 24  |
| 2章 政令市および特別区における都市内エネルギー需要の推定.....           | 25  |
| 2-1 都市内のエネルギー需要把握に係るデータ整備の状況.....            | 26  |
| 2-2 既存統計を活用した都市内エネルギー需要の推定.....              | 29  |
| 2-3 まとめ.....                                 | 39  |
| 第3章 福岡市における地域冷暖房の導入効果と公共施設空間の活用.....         | 40  |
| 3-1 日本の地域冷暖房事業の実態と課題.....                    | 41  |
| 3-2 福岡市を対象とした地域冷暖房事業の展開の検討.....              | 42  |
| 3-3 福岡市における低炭素型都市づくりのシミュレーション分析.....         | 45  |
| 3-4 まとめ.....                                 | 49  |
| 第4章 東京特別区におけるコージェネレーションを用いた地域エネルギー供給の評価..... | 50  |
| 4-1 電力・熱負荷特性による東京都23区の地区分類.....              | 51  |
| 4-2 空間構造特性を考慮したエネルギー供給システムの更新シミュレーション.....   | 59  |
| 4-3 エネルギー供給システム更新期待地区の将来的適合性.....            | 75  |
| 4-4 まとめ.....                                 | 78  |
| 第5章 東京都心における低炭素都市づくりのあり方と市街地空間整備の方向性.....    | 79  |
| 5-1 千代田区における低炭素化施策の枠組みの方向性.....              | 80  |
| 5-2 千代田区におけるエネルギー需要のモデル化.....                | 86  |
| 5-3 千代田区における多面的なエネルギー施策展開の可能性分析.....         | 99  |
| 5-4 まとめ.....                                 | 107 |
| 結論.....                                      | 108 |
| (1) 概括.....                                  | 108 |
| (2) 結論.....                                  | 111 |
| 参考文献リスト.....                                 | 113 |
| 謝辞.....                                      | 119 |

## ■序論

### 0-1 研究の背景

#### (1) 地球温暖化対策の都市にもたらす影響

地球温暖化及びそれに起因する気候変動は、国民生活全般に大きな影響を及ぼすものであり、人類の生存基盤に関わる大きな課題である。地球温暖化は、人間の活動から排出される温室効果ガスが原因とされている、二酸化炭素が大部分を占める。

特に様々な活動が集約的に展開され、大量のエネルギーが消費されている都市では、大量の二酸化炭素が排出されている。我が国における総二酸化炭素排出量のうち、都市における社会経済活動に起因することが大きい家庭部門及びオフィスや商業等の業務部門と自動車・鉄道等の運輸部門における排出量は全体の約5割を占めている<sup>1</sup>。

さらに、二酸化炭素の排出量と都市構造の在り方は密接に関係している。例えば、都市機能の拡散は、自家用車利用の一層の高まりや移動距離の増加をもたらし、二酸化炭素排出量を増加させ、環境への負荷がより高まることが懸念されている。また、市街地の道路渋滞が悪化し、二酸化炭素排出量の増加や生活環境への負荷を高めるなど、地球環境、更に生活環境のそれぞれのレベルで問題を生じさせている。これまで、急速な都市への人口集中に対処するため、計画的、また自然発生的に外部へと住宅供給が進められてきた。その結果生じた都市の外延化が交通問題をはじめとして、環境負荷の大きな都市構造を作り出している。近年、環境負荷の小さな都市構造への転換が求められているのは、その対処のひとつである。また、緑地の減少、人工排熱の増大、市街地の高密度化、風通しや水循環の悪化等により、ヒートアイランド化が進み都市部の温度の上昇が懸念されるとともに、業務ビルの高気密化、コンピューターの発熱等による冷房使用の長時間化や冬季においても冷房需要が存在するといった状況も増加し、エネルギー消費量増大の原因となっている。

#### (2) 京都議定書目標達成計画における都市づくりの位置付け

地球温暖化対策の枠組法である「地球温暖化対策の推進に関する法律」（以下、「地球温暖化対策推進法」）に、地球温暖化対策と都市づくりとの連携が盛り込まれたのは、2008年の同法改正においてである<sup>2</sup>。改正前の地球温暖化対策推進法は、地方公共団体に対して、自らの事務・事業に伴い発生する温室効果ガスの排出の量の削減並びに吸収作用の保全及び強化のための措置に関する計画（以下、「地方公共団体実行計画」。）を策定することを求めていた。2008年の改正では「地方公共団体実行計画の拡充」が掲げられ、比較的規模の大きい地方公共団体（都道府県、指定都市、中核市及び特例市）は、自らの事務・事業に関する事項だけでなく、区域全体で排出削減を進めるための施策<sup>3</sup>についても地方公共団体実行計画に盛り込むこととされた。また、都市計画等についても、地方公共団体実行計画と連携して温室効果ガスの排出の



抑制等が行われるよう配慮することを求めている。

地球温暖化対策推進法は、京都議定書の温室効果ガス削減目標達成に向けて、「京都議定書目標達成計画」を策定することを定めている。これを受けて、2005年4月に「京都議定書目標達成計画」が策定された。現行の地球温暖化対策は、2008年3月に改定された同計画に基づいて、2008年度から2012年度までの事業が実施されている<sup>4</sup>。

京都議定書目標達成計画にも都市づくりとの連携が盛り込まれており、「低炭素型の都市・地域構造や社会経済システムの形成」に着手するとしている<sup>5</sup>。具体的には、①集約型都市構造の実現、②環境負荷の小さいまちづくり（コンパクトシティ）の実現、③地球温暖化対策に関する構造改革特区制度の活用、④地域の地球温暖化対策推進プログラム、⑤地区・街区レベルにおける対策、⑥エネルギーの面的な利用<sup>6</sup>の促進、⑦地域レベルでのテナントビル等に対する温暖化対策の推進、⑧緑化等ヒートアイランド対策による熱環境改善を通じた都市の低炭素化、⑨住宅の長寿命化の取組といった対策について、関連する各種事業が実施されている<sup>7</sup>。

### (3) 低炭素都市づくりガイドラインの策定

一方、国土交通省は、2010年に低炭素都市づくりに関する考え方と対策の効果・分析を示した「低炭素都市づくりガイドライン」を策定した。これは、総合的な「低炭素都市づくり」について、「様々な施策をどのように組み合わせれば都市全体として効果的か」を客観的に比較することができる手法が存在しなかったことから、地方自治法第245条の4の規定に基づく技術的な助言の性格を有するものとして策定されたものである。同ガイドラインでは、都市を集約型の構造に転換するとともに、その転換に合わせて各分野において低炭素化に取り組むことが重要との認識に立ち、具体的取組み分野として「交通・都市構造」「エネルギー」「みどり」の3分野毎に低炭素化の取組みの考え方を示している<sup>8</sup>。

交通エネルギー消費の観点からは、より身近なところでの日常生活が可能なコンパクトな市街地の形成により、移動距離の短縮化と交通需要の軽減が期待されている。また、移動距離の短縮化により、自動車利用から徒歩や自転車利用への転換が促進される。さらに、交通需要密度が高まることにより、公共交通機関の採算性の向上とこれによるサービス水準の向上が可能となり、自動車利用から公共交通利用への転換が図られることとなる。

建物の消費エネルギーに関しては、集約型都市構造への転換により、都市のエネルギーシステムを高効率で低炭素なものに転換しやすい条件を整えることにもつながるため、一体的に取り組むことが望ましいとされている。集約拠点における高密度で複合的な土地利用は、集合住宅化等による省エネルギー化につながるとともに、エネルギー需要密度の向上やエネルギー需要の平準化を通じて、高効率な面的エネルギーシステムの導入を容易にする。また、都市の中に賦存する未利用エネルギーの賦存場所（工場、清掃工場、下水処理場等）と都市機能が近接化するように土地利用を誘導することで、低炭素なエネルギー源を活用したエネルギーシステムの導入も容易になるとされている。

さらに、みどりの観点では、二酸化炭素の吸収源になるとともに、都市気候を緩和する機能

を通じて、間接的に冷暖房等に起因する排出量を低減する。また、バイオマスエネルギーの活用という観点からも重要であり、都市構造の転換に際し、郊外部及び都心部における「みどり」の量的・質的な充実を図ることにより、「みどり」による都市の低炭素化が促進されるとされている。

しかし、こうした集約型都市構造の転換に伴う低炭素化の取組みを実現するためには、地域住民をはじめとする関係主体間の合意形成をまとめていくことが求められる。関係主体間の合意形成を困難にしている要素として、①科学的な根拠に基づく将来像・将来シナリオの提示とそれに基づく各種計画制度間の連携が必ずしも十分でない、②低炭素化の観点から目指すべき将来像に向けて各主体の行動を誘導するための制度的枠組みが不十分、③長期的な削減効果を生み出す大規模設備等に対して、初期投資や運営・継続に当たっての支援の仕組みが不十分、④成功事例の共有化と、計画策定のプロセスや要件等のマニュアル化が不十分、⑤低炭素化のメリットとそのための具体的手法に関する情報共有が不十分といった課題が指摘されている<sup>9</sup>。

こうした背景から、現在、我が国において、地球温暖化対策における都市政策の役割の重要性が高まっていること、市町村の地域特性に応じた都市計画施策との連携による低炭素都市形成の展開が求められているものの、科学的根拠に基づくシナリオの提示やそれを実現する上での制度的枠組みが不十分であることが分かる。従って、低炭素都市形成の取組みを具体化していくためには、客観的・定量的な分析を通じた評価の実施が求められている

## 0-2 研究の目的・手法・視点

### (1) 研究の目的

そこで、本研究は、低炭素型都市づくりのための都市計画とエネルギー政策の連携方法を、エネルギー面的利用の実現に資する市街地整備のあり方に着目して明らかにすることを目的とする。とりわけ、

- ①市街地の集約化やエネルギー政策に関して経験の少ない自治体、さらにはエネルギー消費に関する地域統計が未整備という状況の中で、いかにして都市の低炭素化を検討すべきか。
- ②都市の低炭素化に資するエネルギー技術は多様なオプションが存在し、技術革新が進んでいる。こうした中で、都市の計画立案者はいかなる評価手法を用いて将来のシナリオを提示すべきか
- ③未利用エネルギーや再生可能エネルギー等は出力制御や貯蔵・輸送が難しく、これを有効利用するためには地域のエネルギー需要とマッチングを図る必要がある。この課題に対し、社会技術としての都市計画はいかなる対応を図るべきか

上記の論点を本研究を通して明らかにするものである。

なお、エネルギー政策の対象には地熱や風力、波力や潮力など幅広い種類が存在するものの、本研究では都市づくりとの関係を扱う目的から、特に市街地において展開の想定される地域冷暖房やコージェネレーション、工場からの未利用排熱に着目して分析を行う。市街地以外で展開されるエネルギー政策の効果や影響については、本研究の対象として含めない。

## **(2) 研究の手法**

研究の手法は、文献調査と統計数値情報による都市モデルの推計を基本としている。調査のための文献資料は、参考文献に掲げる通りであるが、対象とした領域は大きく分けて以下に示す通りである。

- 1) 環境省・経済産業省・国土交通省発行資料
- 2) 政令指定都市・東京特別区の地球温暖化対策実行計画、都市計画マスタープラン
- 3) 政令指定都市・東京特別区の条例、要綱

## **(3) 研究の視点**

本論文は、以下の3つの視点から分析を行う。

### **① エネルギー面的利用に係る施策を具体化していくための取組方法**

エネルギー面的利用の施策を検討するには、まず都市内のエネルギー需要分布を把握することが第一歩となる。しかし、本論第1章で明らかにするように、我が国のエネルギーに関する統計は全国や都道府県レベルの整備に留まっており、都市内地域別のエネルギー需要分布を把握することが困難な状況にある。この課題に対し、既存の各種統計を組み合わせることで、大まかではあるものの、各都市のエネルギー面的利用の期待地区を明らかにする事ができる。

### **② 地域エネルギーシステムの構築に対応するための土地利用規制**

我が国の市街地は敷地レベルの土地利用規制制度下であり、目標とする市街地像が共有されていない。それ故、地域エネルギーシステムの構築・運用を図ることが難しい。都市計画基礎調査のデータからその実態を明らかにすることができる。

### **③ 多様なエネルギー政策の展開を可能とする市街地空間整備のあり方**

都市の低炭素化に資する施策は様々なオプションが存在し、多様な将来シナリオを描くことが可能である反面、それが合意形成を困難たらしめる要因ともなっている。とりわけエネルギー設備機器は日進月歩の勢いで新技術が生み出される。都心のエネルギー施策として大きくは

建物単位・地区単位・都市圏単位のスケール別にシナリオを描くことが可能である。これらのエネルギー施策をそれぞれ個別に評価する取組を通じて、将来的な都市空間整備のあり方を明らかにできる。

### 0-3 既往研究と本研究の位置付け

本研究が地方自治体における低炭素化施策の展開方法として、市街地整備と連携したCO<sub>2</sub>排出削減策の計画方法を扱うことから、ここでは①政府、自治体における低炭素都市づくりの政策枠組み、②エネルギー技術の導入可能性と効果、都市構造との関係という2つの方向性から、既往研究と本研究の関係を位置づける。

なお、都市計画を通じた低炭素化施策として交通部門、みどり部門の施策が他に存在するものの、これらの施策については既往研究が一定量存在することから、本研究においては取り扱わない。ただし、将来的には交通・建物・みどりの施策を一体的に連動させた「集約型都市構造化施策」を検討することが重要になると考えられる。本研究はそうした総合的施策への発展を目指す上で、建物に関する施策の基本条件整理を行うものでもある。

#### (1) 政府、自治体における低炭素都市づくりの政策枠組みに関する研究

まず国内の低炭素都市づくりに関する政策枠組みの現状については、中口<sup>101112</sup>によりこれまで数多くの報告がなされている。そのうち主要な言及としては、①市町村レベルではデータ制約からCO<sub>2</sub>排出量の算定自体行うことが難しく、対策案を講じる段階まで至らない現状にあること、②町内の縦割り構造によって分野横断的な施策を打ち出すことが十分行われていないこと、などの指摘が挙げられる。また馬場<sup>13</sup>は、自治体間の温暖化対策の取組みが一部の先導的な施策を行う自治体に追随する現状することに着目し、その政策波及プロセスの解明を行っている。一方、国外政策枠組みから示唆を得ようとした研究は、村木、長谷川らによって貴重な報告がなされている。まず、村木ら<sup>14</sup>は、イングランドにおける再生可能エネルギー政策の策定状況とそれらと都市計画との関係を把握した上で、イングランドに倣い我が国においても省庁の枠を超えた連携体制を築く必要のあること、開発に伴う再生可能エネルギー利用の目標値の設定が有効であること、を指摘していた。

#### (2) エネルギー技術の導入可能性と効果、都市構造との関係に関する研究

政策面に関する研究が近年になって行われるようになったのに対し、エネルギー技術の建築・都市への導入可能性、効果を扱った研究は古くからおこなわれており、関係学会も多岐にわたる。その中でも市街地空間を主な研究対象とする土木、都市計画、建築の3学会において近年盛んにおこなわれている研究として、佐土原<sup>15</sup>、尾島ら<sup>16</sup>の地域冷暖房、小倉<sup>17</sup>、花木ら<sup>1819</sup>の未利用エネルギー活用型ヒートポンプ、大西ら<sup>20</sup>のコージェネレーション等を挙げることができる。また、上記のエネルギー技術と都市構造の関係を扱った研究としては、森本<sup>21</sup>、松橋

ら<sup>22</sup>によって交通面からのアプローチがなされている一方で、都市内の土地利用構成とエネルギー技術の関係を扱った研究は限られる<sup>23,24</sup>。

### (3) 本研究の位置付け

以上、低炭素都市づくりの実現に資する政策枠組みと各エネルギー技術の導入可能性、及び都市構造との関係に関連する既往研究を概観した。これより、具体の都市を対象とし、市街地の更新とエネルギー技術システムの導入を同時に定量評価した上で、それを政策的につなげていくための計画方法を明らかにするための研究は限られている現状にある。

## 0-4 研究の構成

本研究は5章からなり、第1、2章がエネルギー面的利用に係る国内各都市の現況比較、第3、4、5章が個別の都市を対象としたエネルギー面的利用のモデル分析の構成を採っている(図0-1-1)。以下、各章の構成を記す。

第1章は、日本の各都市における民生部門CO<sub>2</sub>排出量の実際とエネルギー面的利用に係る施策化状況を明らかにする。ここでは、まずエネルギー面的利用の取組が特に求められる地域を、市町村別の民生部門CO<sub>2</sub>排出状況の都市規模別比較を通じて整理する。その上で、特にエネルギー面的利用の検討が求められる大都市に着目し、現行の低炭素施策の中でエネルギー面的利用をどのように位置づけているかを行政計画や条例の内容をもとに分析する。

第2章は、大都市の都市内エネルギー需要分布の状況を町丁目単位で推定し、エネルギー面的利用の期待地区が現状どこにどの程度存在するのかを明らかにする。ここでは、まず都市内のエネルギー需要分布を推定するためのデータ整備状況について、国の報告書等をもとに現状整理を行う。次に、一般公開されている地域別の各種統計情報を活用して都市内エネルギー需要の推定を行い、各都市が有するエネルギー面的利用の期待地区の状況を明らかにする。

第3章は、地方都市におけるエネルギー面的利用の実現方策に関する検討として、福岡市を対象に地域冷暖房の導入と公共空間の活用に着目した分析を行う。ここでは、まず日本の地域冷暖房事業が抱える課題を既往研究の結果を援用して整理した後、福岡市の市街地現況と低炭素施策の内容を分析する。次に、福岡市での地域冷暖房事業の展開方策を、①市内全域で事業展開が図られた場合、②公共施設の集積地で率先的に事業展開が図られた場合、の2ケースの分析を通じて、明らかにする。

第4章は、地域エネルギーシステムの導入・運用において土地利用構成の空間的・時間的変化が及ぼす影響を明らかにする。ここでは、まず東京都におけるエネルギー需給構造変革への

取組みを明らかにし、都区部の電力・熱需要特性分析からコージェネレーションによる地域エネルギーシステムの導入適地を検討する。次に、地域でのコージェネレーション導入の適地からいくつかの代表地区を選出し、詳細な空間構造を考慮してその導入効果を明らかにする。最後に、時間の経過に伴う土地利用の変化が地域エネルギーシステムの計画的・長期的運用に与える影響を考察する。

第5章は、東京都心における都市エネルギー政策の複数代替案評価を行い、各施策の適用に際して求められる都市計画的対応を明らかにする。まず、都心に位置する千代田区において取り組まれている温暖化対策を概観した上で、当地において講ずべき施策の方向性を検討する。次に、千代田区における将来的な低炭素施策展開の方向性として「建物内個別熱源機器の高効率化」「地域冷暖房の導入」「工場未利用排熱のオフライン輸送」の3つを設定し、各システムの導入効果と実現に際しての課題を考察する。

最後に結論として、本研究で提示した論点を総括し、低炭素都市形成に向けた都市計画とエネルギー政策の連携のあり方、具体的にはエネルギー面的利用にと、その実現のために必要な取組みを提示する。

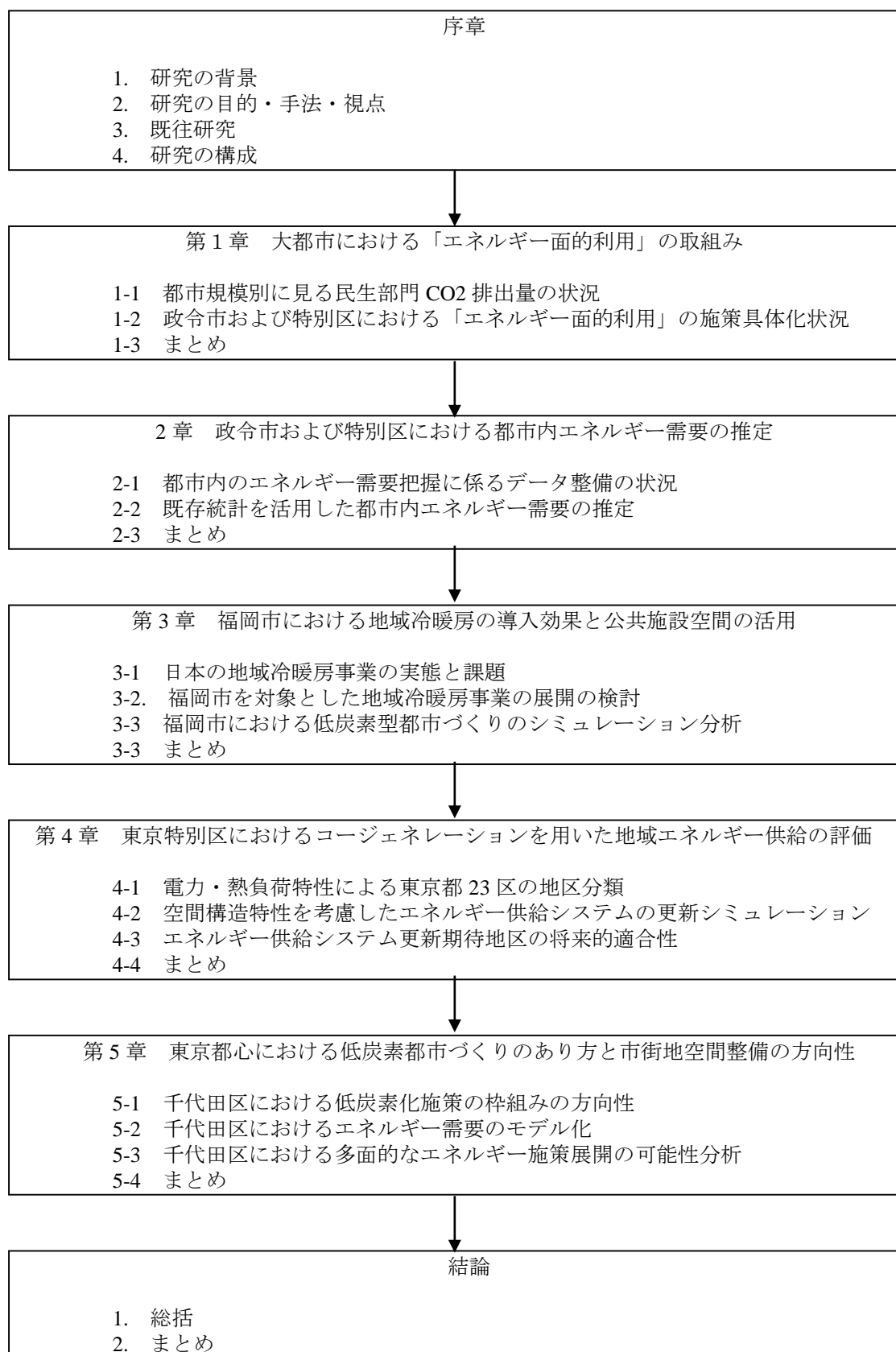


図 0-1-1 研究の構成

- 1 国土交通省都市地域整備局（2010年8月）「低炭素都市づくりガイドライン」,p.I-5
- 2 小林光(2011)「低炭素都市に向けた環境省の取り組み、そして若干の個人的考察と提案」『地域開発』556, pp.4-5.
- 3 具体的には、①自然エネルギーの導入促進、②地域の事業者、住民による省エネ等の促進、③公共交通機関・緑地等の地域環境の整備、④廃棄物の排出抑制その他の循環型社会の形成といった施策である（第20条の3第3項各号）。
- 4 加藤聖（2011）「地球温暖化防止に関する政策動向」『電気設備学会誌』vol.31 No.8, p.597.
- 5 環境省（2008）「京都議定書目標達成計画」, pp.26-28.
- 6 国土交通白書によると、「地区・街区レベルの複数の建物でエネルギーを利用することにより、エネルギー利用を効率化し、地区全体のエネルギー消費量を削減すること」を指す。
- 7 地球温暖化対策推進本部（2011）『京都議定書目標達成計画の進捗状況』, pp.5, 24-53.
- 8 国土交通省都市地域整備局（2010）「低炭素都市づくりガイドライン」,p.I-10
- 9 中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会（2010）「別添4.5 地域づくりWG」『中長期の温室効果ガス削減目標を実現するための対策・施策の具体的な姿（中長期ロードマップ）（中間整理）』, pp.212-213.  
<http://www.challenge25.go.jp/roadmap/media/a7.pdf>
- 10 中口毅博(2009)「自治体温暖化政策の実施状況の定量的分析－実施率の変化およびCO2排出量との関係の分析－」,日本公共政策学会2009年研究大会報告論文集,p350-357.
- 11 中口毅博(2008)地球温暖化防止における自治体の役割と地球温暖化防止条例.自治体法務研究, 11,p24-30.
- 12 中口毅博(2004)市町村レベル自治体における温暖化対策立案のあり方.資源環境対策,40(4),p30-38.
- 13 馬場健司（2008）「地方自治体におけるエネルギー政策プロセスに関する研究」,筑波大学システム情報工学研究科 博士論文
- 14 村木美貴,小倉裕直（2005）「イングランドの都市計画における再生可能エネルギー政策とその実現性に関する研究」,日本都市計画学会学術研究論文発表会論文, No.40-3,pp.25-30
- 15 佐土原聡（1998）「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研究」,日本建築学会計画論文集, No.510,pp.61-67.
- 16 曹 鳴鳳,尾島俊雄（2002）「東京都心部における地域冷暖房の稼働実態調査研究」日本建築学会環境計論文集, No.620,pp.75-81.
- 17 小倉裕直,岡野聡史（2006）「次世代技術導入によるエネルギー持続可能な地域開発に関する研究 -廃熱のオフライン化学蓄熱輸送利用に向けて-」,都市計画論文集, Vol.41, No.3, pp.821-826.
- 18 池上貴志,荒巻俊也,花木啓祐（2008）「東京都区部における下水熱利用地域冷暖房システム



- 
- 導入による二酸化炭素排出削減ポテンシャルの推計」, 土木学会第 63 回年次学術講演会
- 19 河上裕美, 花木啓祐, 荒巻俊也 (2008) 「地理情報を利用した清掃工場排熱利用の地域冷暖房導入による CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルの推定」, 第 24 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
  - 20 大島 敦仁, 大西 隆, 城所 哲夫, 瀬田 史彦, 中野 康子 (1999) 「市街地におけるコージェネレーションシステムの導入可能性についての検討」, 日本都市計画学会都市計画論文集, No.34,pp.103-108.
  - 21 森本 章倫, 古池 弘隆 (1995) 「都市構造が運輸エネルギーに及ぼす影響に関する研究」, 日本都市計画学会都市計画論文集, No.30,pp.685-690.
  - 22 松橋 啓介 (2000) 「大都市圏の地域別トリップ・エネルギーから見たコンパクト・シティに関する考察」, 日本都市計画学会都市計画論文集, No.35,pp.469-474.
  - 23 田頭 直人 (2002) 「エネルギー削減を目指した地域の空間構造とその効果に関する分析ー地域冷暖房と太陽光発電システムを導入した場合ー」, 日本都市計画学会都市計画論文集, No.35,pp.469-474.
  - 24 下田吉之, 水野稔 (2006) 「地区を基本単位とした都市エネルギー需要のモデル化と将来シナリオに関する研究」 日本都市計画学会都市計画論文集, No.41-3,pp.833-838.

## 第1章 大都市における「エネルギー面的利用」の取組み

### ■はじめに■

2008年6月に改正された地球温暖化対策の推進に関する法律において、都道府県並びに指定都市、中核市及び特例市の地方公共団体は、自団体の区域全体の自然的社会的条件に応じた温室効果ガス排出削減のための施策（以下、「区域施策」と称す）を策定することが義務付けられた。このうち特に指定都市、中核市及び特例市にあっては、都市計画や農業振興地域整備計画等、他の関連施策と連携して区域施策を定めることが必要とされている。

同法の改正以降、2013年8月までの間に政令市の約6割、中核市の約3割、特例市の約1割において区域施策の策定が行われ、未策定の指定都市等においても順次策定がなされる見通しにある。都市計画等の施策と連携した排出抑制策が着実に実施された暁には低炭素社会の構築に大きく貢献することが期待される。

そこで本章は、大都市における低炭素都市づくりの施策枠組みの中で、エネルギー面的利用が現状いかに位置づけられているかを明らかにする。その際、まず大都市のCO<sub>2</sub>排出量が国内においてどのような状況にあるかを基本認識として抑えるため、市区町村別のCO<sub>2</sub>排出データを用いて分析する。こうした基礎分析を経て明らかとした、特に民生部門のCO<sub>2</sub>排出削減が求められる大都市を対象に、各市の低炭素都市形成に係る施策の取組状況をみる。また都市計画との連携という観点から、都市計画マスタープランにおいてどのような記載がなされているかを明らかにする。

本章の論点は以下の通りである。

- ①国が課題とする民生部門のCO<sub>2</sub>排出量は、市区町村別に見た場合、いかなる地域からの排出が多く、また近年増加傾向にあるのかを整理すること
- ②民生部門のCO<sub>2</sub>排出量削減が特に求められる都市において、エネルギー面的利用は現状どのように行政施策の中に位置づけられているかを明らかにすること

## 1-1 都市規模別に見る民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量の状況

ここでは、全国の中で「エネルギー面的利用」の取組みを検討することが特に必要とされる地域のあぶり出しを行うため、全国各都市の民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量がどのような状況にあるのかを明らかにする。なお、本研究では都市の定義を市町村とする。

### 1-1-1 市町村別の民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量の計算

我が国の公的統計において整備されている地域別の CO<sub>2</sub> 排出量データは、現在、都道府県単位の整備に留まり、都市（市区町村）別の CO<sub>2</sub> 排出量は個々の都市ごとに算定されている状況にある。大都市については大半の地域が排出量の算定を行っている状況にあるが、中小都市ではデータの利用制約などから排出量を算定していない場合がほとんどである。また、排出量の算定を行っている大都市においても、それぞれ異なる統計・推計手法を用いて算定している実情にあり、都市間の排出量を比較するためのデータとして用いることには限界のあるものとなっている<sup>1</sup>。そこでまず、各市町村の民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量を同一の算定方法で作成する。

具体的には、環境省の公表する「地球温暖化対策地方公共団体実行計画(区域施策編)策定マニュアル(第1版)簡易版」に示された方法に則り、各市の排出量を算定する（図 1-1-1）。この方法は、都道府県レベルで算定された排出量を、各市町村の世帯数や床面積等の活動量に応じて按分した数値<sup>2</sup>である。このため、各市区町村の実際の排出量とは乖離する部分も存在するが、本節における分析の目的は、全国における政令市等の排出状況を大まかに把握することに主眼を置くため、データの精度に一定の限界はあるものの、実現値が不在の状況からこの推計方法を用いることとする。

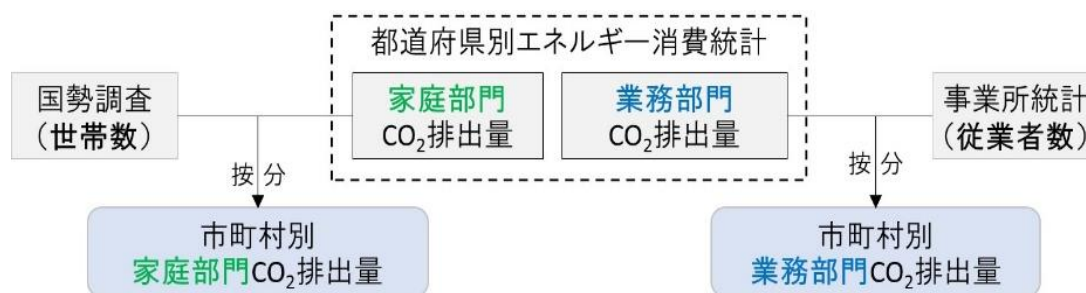


図 1-1-1 市町村別 CO<sub>2</sub> 排出量のデータ作成方法

図 1-1-1 に示した方法で作成した都市別の民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量を、表 1-1-1 に示す 5 つの都市規模ごとに集計し、(1) 2010 年時点の都市規模別民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量構成比、(2) 1990 年と 2000 年、2000 年と 2010 年の 2 期間における CO<sub>2</sub> 排出量の増加率を明らかにする。

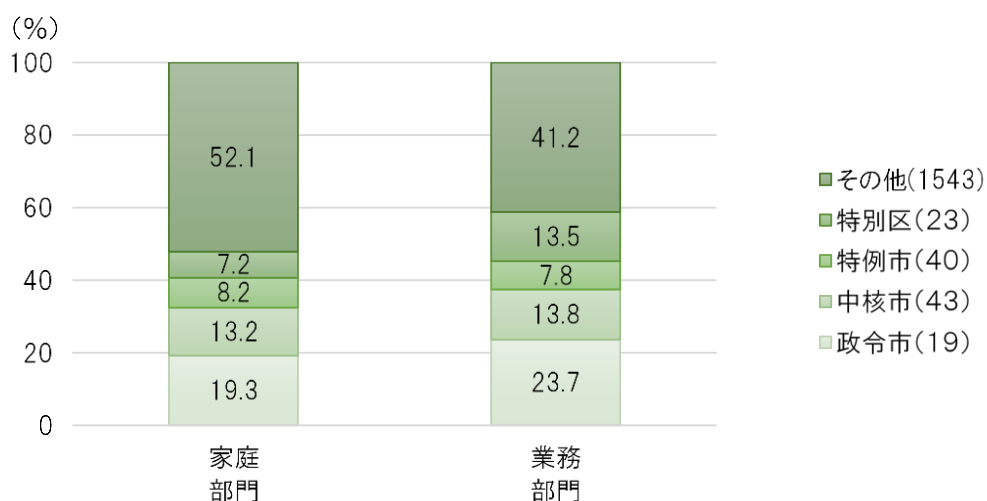
表 1-1-1 都市規模の区分 (2010 年 1 月現在)

| 名称  | 人口要件   | 数    | 具体の都市名        |
|-----|--------|------|---------------|
| 政令市 | 50万人以上 | 18   | 札幌市、横浜市、福岡市など |
| 中核市 | 30万人以上 | 44   | 青森市、金沢市、姫路市など |
| 特例市 | 20万人以上 | 40   | 山形市、熊谷市、松江市など |
| 特別区 | —      | 23   |               |
| その他 | —      | 1594 |               |

## 1-1-2 都市規模別にみる民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量の状況

### (1) 現況における民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量の構成割合

まず、現況 (2010 年) における民生家庭、業務部門の都市規模別排出構成比を見る (図 1-1-2)。これより、国内の民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量は、家庭、業務部門の共に、約 5 割が大都市からのものとなっている。大都市のうち、特に構成比の高いところは政令市であり、民生家庭、業務部門ともに、約 2 割を占める状況となっている。

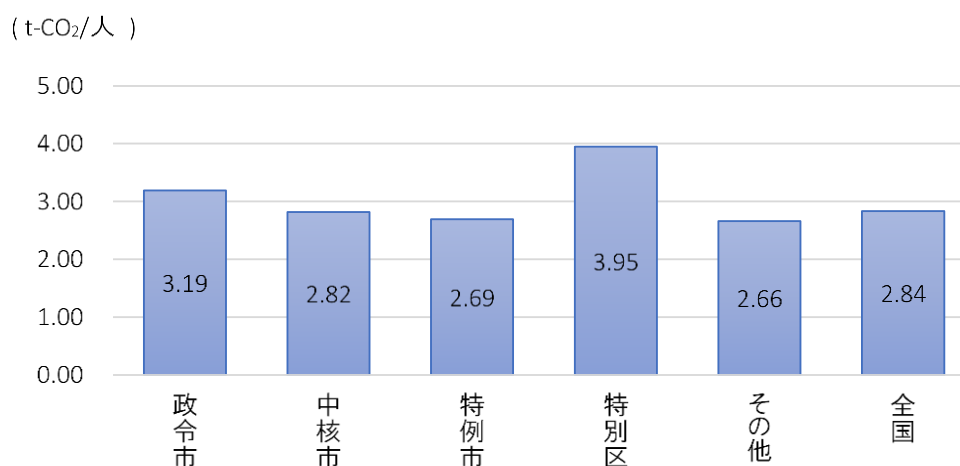


資料: 資源エネルギー庁「都道府県別エネルギー消費統計」、総務省「国勢調査」「事業所企業統計調査」より作成

図 1-1-2 都市規模別の民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量構成比

凡例(都市数)

ただし、このデータは実数を用いた比較であり、各都市の規模の違いが反映されていない。そこで、都市規模別の一人あたり民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量を見たものが図 1-1-3 である。ここでの分析では、常住人口を用いたが、この他に昼間人口や交流人口等、都市間の比較を行う上での標準化指標は複数考えられる。一人あたりの排出量を見ると、特別区が約 4 t-CO<sub>2</sub> と最も高いことがわかる。



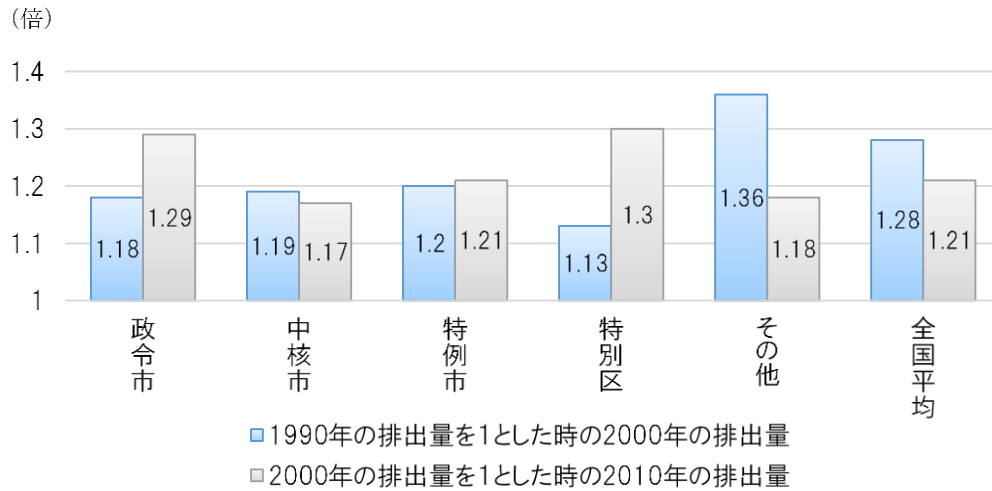
資料：資源エネルギー庁「都道府県別エネルギー消費統計」、総務省「国勢調査」「事業所企業統計調査」より作成

図 1-1-3 都市規模別の一人あたり民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量

## (2) 1990-2000 年、2000-2010 年の民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量の増加率

次に、1990 年から 2000 年と 2000 年から 2010 年の 2 期間における、民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量の増加率をみる。

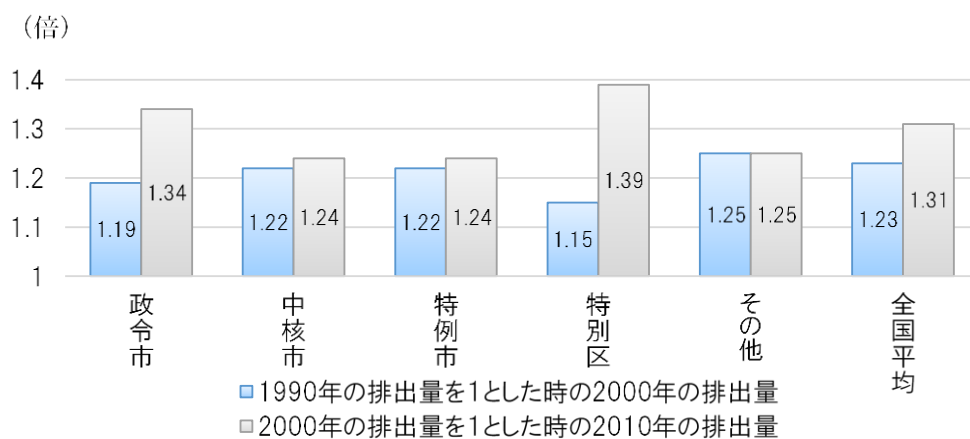
まず民生家庭部門の状況を見ると（図 1-1-4）、1990 年から 2000 年間の増加率が最も高かったのは「その他市町村」であり、約 4 割の増加が生じていた。しかしながら 2000 年から 2010 年にかけては増加率が低下し、全国値と同レベルに落ち着いている。一方、2000 年以降の増加率が高い都市群を見ると、政令市と特別区がある。これは大都市への人口集中が進んでいる<sup>3</sup>ことの影響と考えられる。



資料:資源エネルギー庁「都道府県別エネルギー消費統計」, 総務省「国勢調査」「事業所企業統計調査」より作成

図 1-1-4 都市規模別の民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量の増加率(民生家庭部門)

次に民生業務部門をみると、前期において最大の伸び率を示しているのは、民生家庭部門と同様「その他市町村」である（図 1-1-5）。しかしながら家庭部門における他の都市群と比較した場合の顕著さはみられない。前期については全国一様に排出量の増加が生じていたと解釈できる。一方、後期における伸び率については「政令市」「特別区」が顕著に上昇している。これらの都市群は 2000 年以降に相次いで行われた政府の規制緩和や都市再生プロジェクトによって大量の業務床が供給された地域<sup>4</sup>であり、そのことが伸び率の上昇に現れていると考えられる。家庭部門の伸び率が低下していた「その他市町村」であるが、業務部門については後期においても横ばいの状況となっている。



資料:資源エネルギー庁「都道府県別エネルギー消費統計」, 総務省「国勢調査」「事業所企業統計調査」より作成

図 1-1-5 都市規模別の民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量の増加率(民生業務部門)

以上で見た都市規模別の民生部門 CO<sub>2</sub> 排出状況の分析から、現況における排出量の大きさ、近年における排出量の増加率の観点において、政令市と特別区の2つがとりわけ低炭素都市形成の必要性が高いと指摘できる。

---

【補注】

- 1 エム・アール・アイリサーチアソシエイツ株式会社（2013）平成 24 年度 温室効果ガス排出量、削減量算定及び目標設定事例調査業務 報告書, p1
- 2 業務部門の活動量按分指標である「床面積データ」は、市町村別のデータが公開されておらず、環境省の公表データでは「床面積」の代替指標として「従業者数」が用いられている。そのため本章の分析における業務部門の市区町村別排出量データも「従業者数」で按分した数値である。
- 3 佐野浩（2013）「都心回帰と都市構造の変容—大阪府を例に—」,産開研論集第 25 号
- 4 日本政策投資銀行（2012）「2015 年の名古屋展望」,  
[http://www.dbj.jp/pdf/investigate/area/tokai/pdf\\_all/tokai1212\\_02.pdf](http://www.dbj.jp/pdf/investigate/area/tokai/pdf_all/tokai1212_02.pdf)（2013 年 7 月閲覧）

## 1-2 政令市および特別区における「エネルギー面的利用」の施策具体化状況

都市規模別の排出状況分析を通じて、大都市の中でもとりわけ政令市、特別区における低炭素都市形成の必要性が明らかになった。そこで、ここでは政令市、特別区が現行の低炭素施策の中で「エネルギー面的利用」をどのように位置づけているか、その取組みの実際を明らかにする。

### 1-2-1 行政計画にみる「エネルギー面的利用」の位置づけ

まず、「エネルギー面的利用」の実現に大きく関連する行政計画として、温暖化対策の基本計画である「地球温暖化対策地方公共実行計画（区域施策編）」と都市づくりの基本計画である「都市計画マスタープラン」の2つの法定計画に着目し、両計画における「エネルギー面的利用」の位置づけを明らかにする。

上記の行政計画におけるエネルギー面的利用の記載状況を表 1-2-1,1-2-2 に示す。これより、まず温暖化対策計画については、政令市、特別区ともに大半の都市が「エネルギー面的利用」を図る旨の記載を行っていることがわかる。温暖化対策計画においてエネルギー面的利用の記載が見られない都市は、新潟市や岡山市などの近年に周辺市町村を吸収合併して政令市に昇格したところや、目黒区や中野区などの住宅市街地が市区内の大半を占めるところである。これらの都市は、他市区と比べて高いエネルギー負荷密度を持つエリアが少ないことから、エネルギー面的利用の記載が行われていないと考えられる。

一方、都市計画マスタープランにおいてエネルギー面的利用の記載を行っている都市は、温暖化対策計画の記載状況と比べて特定の地域に限られている。政令市で都市計画マスタープラン内にエネルギー面的利用の記載を行っている都市は、札幌市、横浜市、名古屋市、大阪市、神戸市、福岡市の5市に留まる状況にあり、特別区では千代田区や港区、新宿区などの都心・副都心地域や江東区、品川区などの臨海地域を中心とする9区での記載となっている。これらの地域は政令市、特別区の中でもとりわけ開発圧力が強く、面的な市街地更新事業が多く行われているところだと考えられ、都市計画部局の環境配慮意識が高いことが考えられる。

なお、「エネルギー面的利用」の記載がある都市において、具体の地域名を計上している所は数が限られる状況となっており、大半の都市は全市的な取組の基本的方向性を示す程度に留まっている。これは、都市内のエネルギー需要の状況が把握できていないことがひとつの要因として考えられる。



表 1-2-1 行政計画における「エネルギー面的利用」の記載状況(政令市)

| 政令市   | 地球温暖化対策地方公共団体実行計画 | 都市計画マスタープラン |
|-------|-------------------|-------------|
| 札幌市   |                   | ◎           |
| 仙台市   | ○                 |             |
| さいたま市 | ○                 |             |
| 千葉市   | ○                 |             |
| 横浜市   | ◎                 | ◎           |
| 川崎市   | ○                 |             |
| 新潟市   |                   |             |
| 静岡市   |                   |             |
| 浜松市   | ○                 |             |
| 名古屋市  | ○                 | ○           |
| 京都市   | ○                 |             |
| 大阪市   | ○                 | ○           |
| 堺市    | ○                 |             |
| 神戸市   | ○                 | ◎           |
| 岡山市   |                   |             |
| 広島市   | ○                 |             |
| 北九州市  | ○                 | ○           |
| 福岡市   | ○                 |             |

注:○:「エネルギー面的利用」を図る旨の記載有り、 ◎:「エネルギー面的利用」を図る具体の地域名を計上  
資料:各市区の「地球温暖化対策地方公共団体実行計画(区域施策編)」「都市計画マスタープラン」より作成

表 1-2-2 行政計画における「エネルギー面的利用」の記載状況(特別区)

| 特別区  | 地球温暖化対策地方公共団体実行計画 | 都市計画マスタープラン |
|------|-------------------|-------------|
| 千代田区 | ◎                 | ◎           |
| 中央区  |                   |             |
| 港区   | ◎                 | ◎           |
| 新宿区  | ◎                 | ◎           |
| 文京区  | ○                 |             |
| 台東区  | ○                 | ○           |
| 墨田区  | ○                 |             |
| 江東区  | ◎                 | ◎           |
| 品川区  | ○                 | ◎           |
| 目黒区  |                   |             |
| 大田区  | ○                 | ○           |
| 世田谷区 |                   |             |
| 渋谷区  | ○                 |             |
| 中野区  |                   |             |
| 杉並区  |                   |             |
| 豊島区  | ○                 |             |
| 北区   | ○                 |             |
| 板橋区  | ○                 |             |
| 練馬区  |                   |             |
| 足立区  | ○                 |             |
| 荒川区  | ○                 | ◎           |
| 葛飾区  |                   |             |
| 江戸川区 | ○                 | ○           |

注:○:「エネルギー面的利用」を図る旨の記載有り、 ◎:「エネルギー面的利用」を図る具体の地域名を計上  
資料:各市区の「地球温暖化対策地方公共団体実行計画(区域施策編)」「都市計画マスタープラン」より作成

## 1-2-2 条例、指導要綱に基づく「エネルギー面的利用」の推進制度

次に、エネルギー面的利用を推進するための法的措置として、条例や規則に基づく制度に着目する。

政令市・特別区の中で、「エネルギー面的利用」の推進制度をもつところは4都市存在する。このうち東京、大阪に関しては、都道府県による制度、指導要綱であるものの、ここでは市区に係る制度であるという観点から分析対象として取り扱う。

4都市の制度内容をまとめたものが表1-2-3である。まず、各都市における「エネルギー面的利用」の対象地域を見ると、東京都では都内全域、横浜市、名古屋市、大阪府では用途地域や容積率に応じた指定を行っていることがわかる。これは「エネルギー面的利用」を考えるための条件として、一定の高度利用がなされた市街地が対象となることが理由と考えられる。しかしながら同じ用途地域・容積率の指定がなされている市街地でも実際の市街地現況には一定の幅があるため、より具体の検討を行っていくためには、エネルギー需要の分布を考慮した対象地域の絞り込みを行うことが有効であろう。

また、4都市の制度はそれぞれ一定規模以上の建築・開発事業者に対してエネルギー面的利用の「検討」を義務付ける制度となっており、エネルギー面的利用を積極的に図っていく立場からみれば実効性の点で課題があるものとなっている。

表 1-2-3 エネルギー面的利用の推進制度

| 自治体名              | 東京都                              | 横浜市                               | 名古屋市                                  | 大阪府                     |
|-------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| 制度名称              | 地域エネルギー有効利用計画書制度                 | 地域冷暖房推進指針                         | 地域冷暖房施設の整備促進に関する指導要綱                  | 地域冷暖房の導入に関する指導要綱        |
| 対象地域              | 都内全域                             | 第2種住居・準住居地域<br>近隣商業・商業地域<br>準工業地域 | 第1種低層住居専用地域<br>第2種低層住居専用地域<br>を除く用途地域 | 容積率<br>400%以上の地域        |
| 開発規模              | 建築<br>—<br>開発<br>延床面積 5万㎡以上      | 延床面積 2万㎡以上<br>区域面積 1ha以上          | —<br>区域面積 1ha以上                       | 延床面積 3万㎡以上<br>—         |
| 事業者の必要手続          | DHC導入、未利用エネ活用についての計画書を都に提出       | DHC導入について市長と協議                    | DHC導入について市長と協議                        | DHC導入について知事と協議          |
| 既存DHC区域内の建物に対する要請 | 延床面積 1万㎡（住宅は 2万㎡）以上の建物は熱供給受入検討義務 | 延床面積 3千㎡以上は熱供給受入検討義務              | 延床面積 3千㎡以上の建物は設備更新時に熱供給受入検討義務         | 延床面積 3万㎡以上の建物は熱供給受入検討義務 |

資料：東京都「地域におけるエネルギー有効利用計画書制度」, <http://www7.kankyo.metro.tokyo.jp/yukoriyou/index.html>,  
横浜市「地域冷暖房推進指針」, <http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/ondan/chirei/>,  
名古屋市「名古屋市地域冷暖房施設の促進に関する指導要綱」, <http://www.city.nagoya.jp/jutakutoshi/cmsfiles/contents/0000002/2844/chirei.pdf>,  
大阪府例規集, <http://www.epcc.pref.osaka.jp/main/law/air/chirei/main.html> (平成 25 年 8 月閲覧)

### 1-2-3 東京都地域エネルギー有効利用計画書制度にみる指導内容

ここでは、東京都が運用する地域エネルギー有効利用計画書制度の内容を詳細に分析し、現行制度の課題を考察する。

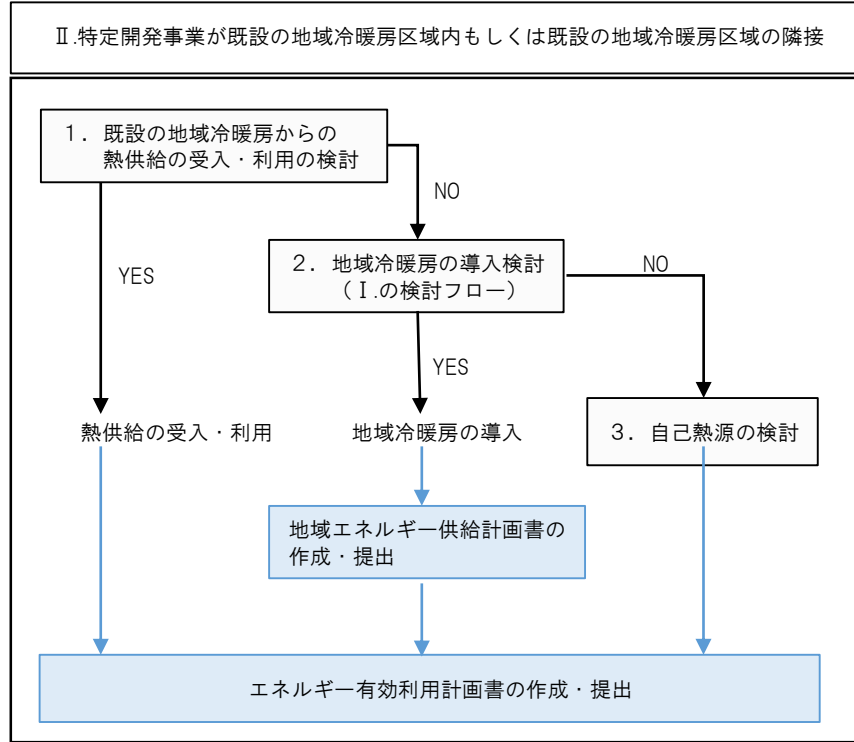
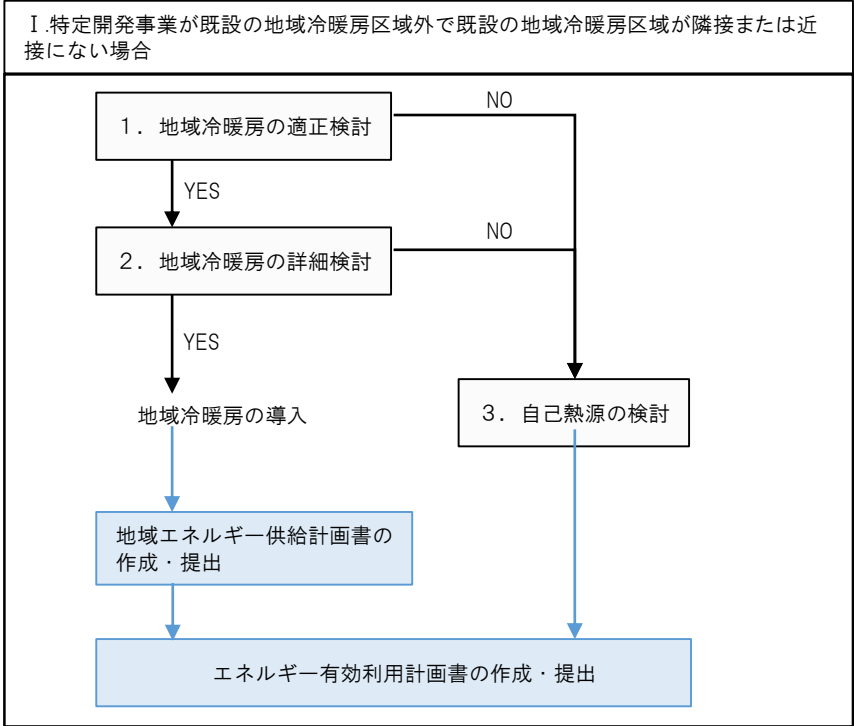
#### (1) 制度の概要

「東京都地域エネルギー有効利用計画書制度」（以下、本制度）は、表 1-2-3 に示す地域熱供給事業に係るそれぞれの対象者について対応する計画書（報告書）の作成・提出を義務付けるものである。(1) の特定開発事業者は、既存の地域冷暖房区域との距離関係に応じて図 1-2-1 の検討プロセス「I」または「II」の結果をエネルギー有効利用計画書に記載して都に提出する仕組みとなっており、(2)の既存地域冷暖房区域内の建物所有者に関しても同じく図 1-2-1 の検討プロセス II の結果を熱供給受入検討報告書として都に提出することとなっている。この地域冷暖房の新規導入、既存地域冷暖房からの熱供給の受入における検討内容は、図 1-2-2 に示す各種要件への該当可否により判断するものとなっている。

表 1-2-3 地域エネルギー有効利用計画書制度の対象と提出書類

|      | (1)特定開発事業者                       | (2)地域冷暖房区域内の建築物所有者  |
|------|----------------------------------|---|
| 対象   | 新築等を行うすべての建築物の延床面積合計が5万㎡超の開発事業者  | 地域冷暖房区域内で下記条件に該当する建築物の新築または熱源機器の更新をしようとする者<br>・住宅：2万㎡超<br>・非住宅：1万㎡超 |
| 提出書類 | A.エネルギー有効利用計画書<br>B.地域エネルギー供給計画書 | C.熱供給受入検討報告書  |

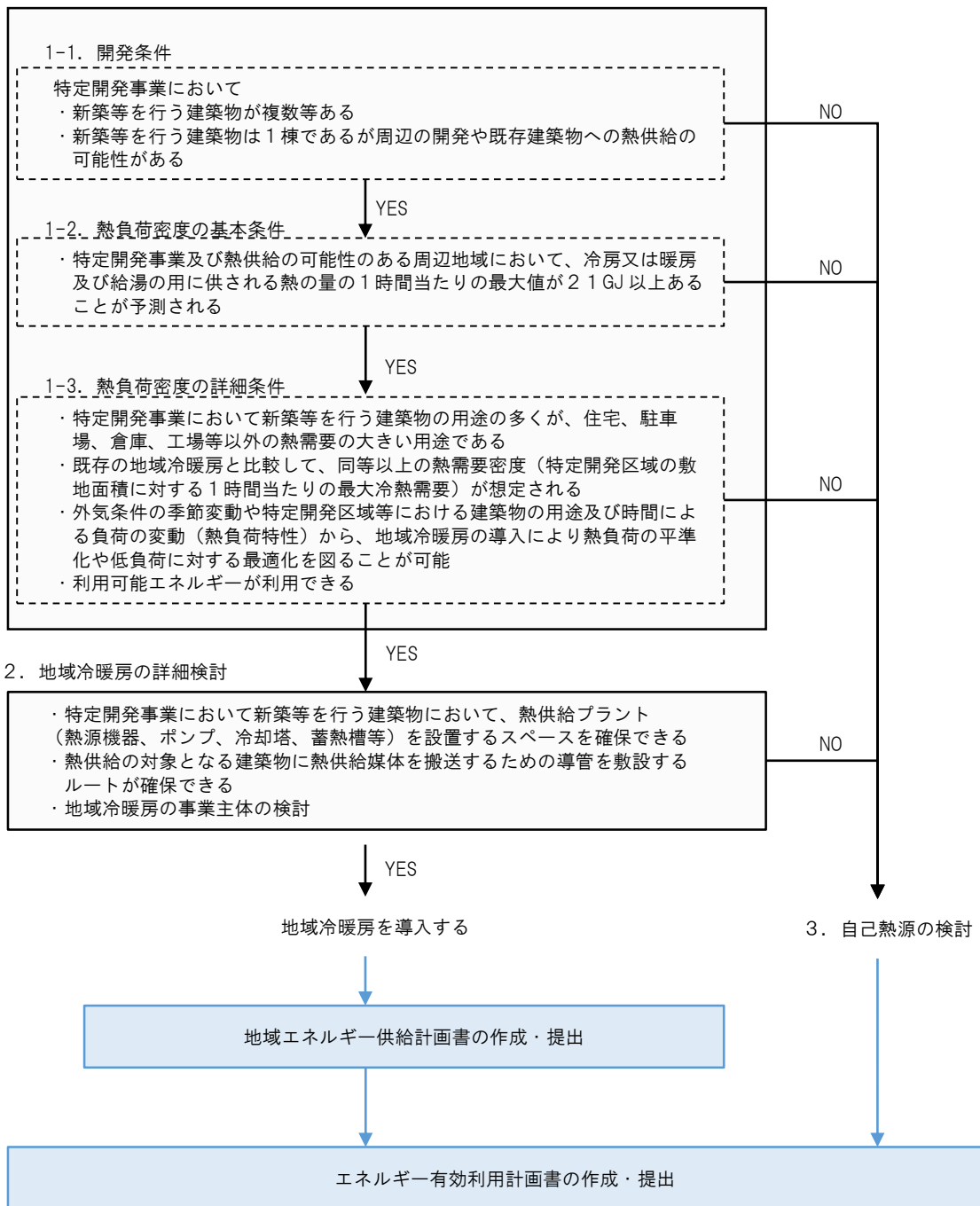
資料：東京都「地域におけるエネルギー有効利用計画書制度」より作成  
<http://www7.kankyo.metro.tokyo.jp/yukoriyou/index.html>(平成 25 年 7 月閲覧)



出典：東京都「地域におけるエネルギー有効利用計画書制度」  
<http://www7.kankyo.metro.tokyo.jp/yukoriyou/index.html> (平成 25 年 7 月閲覧)

図 1-2-1 地域冷暖房の導入、熱供給受入の検討フロー

1. 地域冷暖房の適正検討



出典：東京都「地域におけるエネルギー有効利用計画書制度」  
<http://www7.kankyo.metro.tokyo.jp/yukoriyou/index.html> (平成 25 年 7 月閲覧)

図 1-2-2 地域冷暖房の導入、熱供給受入の検討フロー

## (2) 公表計画書にみる本制度の課題

本制度は運用開始以降、現在までに41件のエネルギー有効利用計画書が提出されている。このうち地域冷暖房の新規導入または熱供給の受入を行ったとする計画はわずか7件に留まり、大半が地域冷暖房の導入を見送っている現状にあることがわかる(図1-2-3)。地域冷暖房の導入・熱供給の受入を見送った理由を見ると、「熱導管の敷設にあたって埋設物が障害となり物理的制約がある」とする回答もわずかながら存在するものの、多くは「最大熱負荷密度が21GJ/hに満たない」「負荷変動が激しく平準化効果を期待できない」という熱負荷の状況に起因するものとなっている。これは制度の適用対象として開発規模のみを要件としていることが大きく影響していると考えられる。

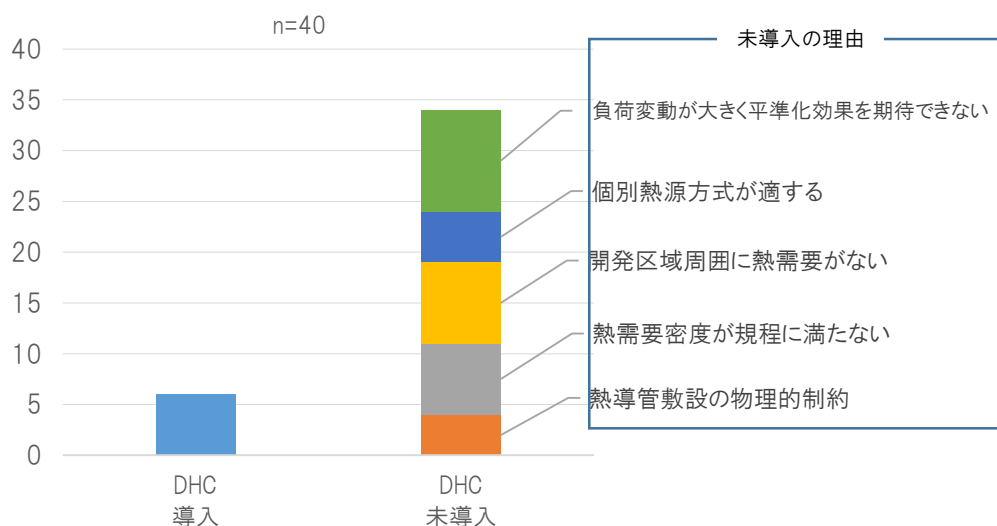


図 1-2-3 地域エネルギー有効利用計画書制度による地域冷暖房の導入・熱供給の受入状況

また、これら地域冷暖房の導入・熱供給の受入を見送った33件の計画について、自己熱源として採用する予定の熱源方式を示したものが図1-2-4である。これより、約半数は個別熱源方式を採用する結果となっていることがわかる。自己熱源を採用する場合の熱源方式については本制度で特段の規程を設けておらず、その判断は事業者側に委ねられている。開発区域の現況熱負荷状況が地域冷暖房に適さない場合であっても、周辺区域の将来的な開発動向の状況によっては、新たに地域冷暖房の導入が適する状況になることが考えられる。その場合に建物が中央熱源方式を採用していれば、地域冷暖房の事業展開を図ることが容易になる。このことから、仮に現況の熱負荷状況が地域冷暖房の

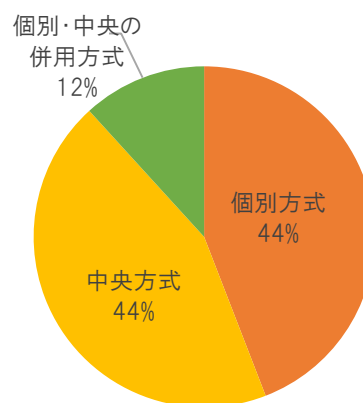


図 1-2-4 地域冷暖房を導入しない場合の自己熱源の方式

採用に適さない場合であっても、将来的な接続の可能性を想定し中央熱源方式に対応可能な建築設備空間を確保することが必要と考えられる。

前述の考察結果を拡張して考えた場合、開発事業によらない個別の大規模建築物に関しても、新築時には中央熱源方式への転換が容易な形の計画として規定することが有効と考えられる。個別の大規模建築物に関する環境配慮の取組みとして、都は建築物環境計画書制度を設けている。しかしながら建築物環境計画書においても熱源方式の規程はなく、これまでに提出された 3000 件近い建築物のほとんどが個別熱源方式を採用している現状にある。今後さらなる低炭素化が求められる状況にあることを考えれば、個々の建築物に関してもエネルギー面的利用への組み込みを想定した建築計画とすることが必要であると考えられる。

### 1-3 まとめ

第1章を通して明らかになった点を以下にまとめる。

- ①国が課題とする民生部門 CO<sub>2</sub> 排出量の増加は、近年、政令市や特別区等の大都市から排出されるものが大きく寄与している状況にあった。これらの大都市は一人あたりの排出量も他の都市に比べて高い現状にあり、将来の大幅な CO<sub>2</sub> 削減を実現するためにはエネルギー面的利用を積極的に検討していくことの必要性が考えられた。
- ②一方で、現在の大都市における「エネルギー面的利用」に係る施策の取組は、計画面においてある程度の検討が行われている状況にあるものの、より具体的な取組へと進展させていくために必要な対策地域の指定や、開発事業をエネルギー面的利用と調和したものへ誘導する仕組みを講じているところは、一部の限られた都市しかない状況にあった。多くの都市で具体的なエネルギー面的利用の検討が進んでいない一要因として、都市内のエネルギー需要の状況が把握されていないことが考えられた。



## 2章 政令市および特別区における都市内エネルギー需要の推定

### ■はじめに

現在、民生用・業務用の低炭素化施策に焦点が当たりつつある中で、その視点として、都市部全体としてのエネルギー効率の改善・省CO<sub>2</sub>の推進の重要性が高まっている。政府としては、個別の建物にとどまらない、面的取り組み・ネットワークの視点からの対策の重要性に着目し、政策分野の横断的な連携により、環境性・省エネ性に優れた都市構造の構築を一つの柱として打ち出そうとしている。この視点をエネルギー面で見ると、各建物の省エネ性能の向上等の事業者個々の対応策とともに、エネルギー需要密度の高いエリアを一体としてとらえ、エネルギーの面的利用を進めることで、より効率性の良いエネルギーシステムや未利用エネルギーを活用するエネルギーシステムを導入するなど、当該エリア全体としてのエネルギー効率の向上・CO<sub>2</sub>排出負荷の低減を進めることが重要な対応策としてとらえられる。

省エネルギー型の都市構造の構築という目的のためには、都市計画の策定や市街地開発事業の実施に当たって、当該地区における最適なエネルギーの供給利用形態、効率的なエネルギーシステムの形態について、社会全体に及ぼす影響も考慮しつつ、十分な検討を行うなど、都市政策とエネルギー政策との有機的な連携が図られる必要がある。地域住民の省エネ意識・環境意識が高まる中で、地方自治体を中心となり、都市政策とエネルギー政策との連携を図りつつ、地域の特性に合致した省エネルギー・省CO<sub>2</sub>型の都市づくりの取り組みも現れてきており、今後、地球温暖化対策法などにより地方公共団体も地球環境に配慮した施策を推進することが求められるようになる中で、かかる積極的な取り組みが各地域に広がることが期待されている。こうした各種の低炭素施策を考える上では、都市内のエネルギー需要の状態を知ることがまず求められるものの、データの整備不足から多くの自治体では自市内のエネルギー需要分布を把握することができていない。

そこで本章は、既存統計の各種組み合わせにより、都市内のエネルギー需要を町丁目単位で推定する方法を考案する。

本章の論点は以下の通りである。

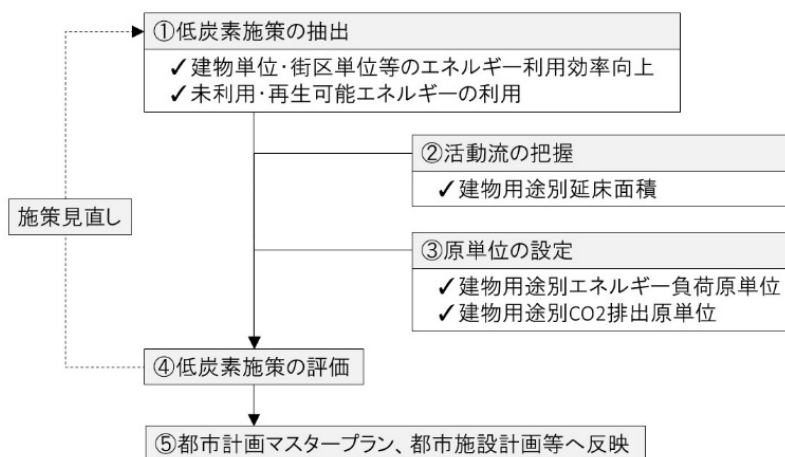
- ①都市内のエネルギー需要分布を把握するために活用可能な統計の整備状況を整理すること
- ②既存の統計を各種組み合わせで都市内のエネルギー需要分布を推定し、エネルギー面的利用の検討が求められる政令指定都市、東京特別区における町丁目別の「エネルギー面的利用」期待地区を明らかにすること

## 2-1 都市内のエネルギー需要把握に係るデータ整備の状況

ここでは、国の示すガイドラインにおいて都市内のエネルギー需要を把握する方法およびそこで活用が想定されているデータには何が挙げられているのかを明らかにする。

### 2-2-1 低炭素都市づくりガイドラインにみる都市内エネルギー需要の推定方法

低炭素都市づくりガイドラインでは、都市の「エネルギー分野」に関する低炭素施策評価の考え方を、図 2-1-1 の手順で検討することが一般的な方法であるとしている。このうち、④の施策評価を行うためには、①低炭素施策の抽出、②活動量の把握、③原単位の設定、の3つが必要な要素とされている。①は建物や地区・街区等のエネルギー利用効率向上や未利用エネルギー、再生可能エネルギーの利用など、都市内のエネルギー需要状況に応じて選択・判断がなされる要素である。一方、②③はその選択・判断の基準となるエネルギー需要を算定するための要素であり、低炭素都市づくりガイドラインの中では建物用途別の「延床面積」と「エネルギー負荷・CO<sub>2</sub>排出源単位」がそれぞれ挙げられている。



資料)国土交通省(2010)「低炭素都市づくりガイドライン」より作成

図 2-1-1 都市の低炭素施策評価の手順(エネルギー分野)

### 2-2-2 エネルギー需要の推定において必要とされるデータの整備状況

次に、延床面積とエネルギー負荷・CO<sub>2</sub>排出源単位は、どのようなレベルで整備されているかを整理する。

## (1) 延床面積に関するデータの整備状況

まず、用途別建物延床面積に関するデータ整備状況をみる。

国土交通省の報告書<sup>1</sup>によると、我が国の建築物に関する統計の整備状況は、「建築着工統計」や「建設投資推計」など新たに建設される建築物が中心であり、建築物ストックに関する統計も、住宅、法人所有の建築物等、個別の用途毎に限定したものが存在するのみで、建築物ストック全体を網羅するものは存在していない状況にあるとされている<sup>1</sup>。建築物ストック統計の整備は、これまでその必要性が再三指摘されていながら、統一的なデータ収集の困難性等から、未だ実現していないという経緯がある<sup>2</sup>。諸外国においては、既存建築物の状況が1件毎にデータベース化され、必要に応じて建築物ストックに関する統計が作成されるシステムが構築されている例がある。日本でもこれに倣い、住宅と建築物のストック情報をデータベース化した建築行政供用データベースの運用を2010年度から開始しているが、建築物ストックの情報として活用可能な形となるためには、相当の時間を要すると考えられる。こうした事情を踏まえて、当分の間は既存の統計や行政記録情報等を基に、加工統計として建築物ストック統計を作成するという方向性のもとで、現在作業が進められている。

ガイドラインの記述には、都市計画基礎調査の活用が挙げられている。しかし、都市計画基礎調査を行っている自治体の調査項目の中で、建物延床面積に関する情報を保持しているところは非常に限られる状況にある。阪田ら<sup>3</sup>の行ったアンケート調査によれば、確かに都市計画基礎調査は全国の都市で実施されていることが示されているものの、都市計画基礎調査において建物の実容積を把握しているところは、政令市、特例市でも4割の自治体しかないことが示されている(表2-1-1)。つまり、都市計画基礎調査を活用してガイドラインの手順に沿った検討を行える都市は、全国の中でも一部の自治体に限られる状況にある。

表 2-1-1 都市計画基礎調査の活用方法

| 項目             | 政令市  | 特別区  | 中核市  | 特例市  | その他*  | 計     |
|----------------|------|------|------|------|-------|-------|
|                | n=17 | n=20 | n=35 | n=38 | n=112 | n=222 |
| 人口フレームの想定      | 29%  | 90%  | 63%  | 74%  | 71%   | 68%   |
| 土地利用現況の把握      | 88%  | 80%  | 71%  | 71%  | 76%   | 76%   |
| 土地利用変化の把握      | 47%  | 80%  | 37%  | 34%  | 29%   | 37%   |
| 建物利用現況の把握      | 71%  | 70%  | 54%  | 45%  | 46%   | 51%   |
| 建物用途変化の把握      | 41%  | 75%  | 23%  | 29%  | 21%   | 29%   |
| 実容積現況の把握       | 41%  | 45%  | 26%  | 18%  | 14%   | 22%   |
| 実容積変化の把握       | 24%  | 55%  | 14%  | 8%   | 8%    | 14%   |
| 住宅過密地区の抽出      | 24%  | 50%  | 11%  | 11%  | 10%   | 15%   |
| 住宅課題地区の抽出      | 18%  | 20%  | 6%   | 8%   | 4%    | 8%    |
| 基盤未整備地区の抽出     | 18%  | 60%  | 9%   | 5%   | 15%   | 17%   |
| 公共施設の適性配置      | 24%  | 60%  | 29%  | 26%  | 29%   | 31%   |
| 宅地開発の動向の把握     | 24%  | 25%  | 34%  | 13%  | 21%   | 22%   |
| 道路ネットワークの検討    | 41%  | 75%  | 31%  | 47%  | 54%   | 50%   |
| 市町村マスタープランとの調整 | 71%  | 75%  | 80%  | 76%  | 79%   | 78%   |
| 住民説明会資料の作成     | 29%  | 35%  | 29%  | 16%  | 17%   | 21%   |
| その他            | 0%   | 0%   | 17%  | 18%  | 10%   | 11%   |

資料：阪田知彦ほか（2009）「基礎自治体の都市計画関連業務で利用される情報の現状」をもとに加工

\*：人口15万人以上

以上、都市内のエネルギー需要を推定するためのデータは、今まさに整備が始められた段階にあり、すぐに活用できる状況にはないことが明らかとなった。

#### 【補注】

- 1 国土交通省（2010）建築物ストック統計検討会 報告書,pp.1-3
- 2 民生部門の建物に限定して考えれば、固定資産課税台帳に基づく建物延床面積データの活用が考えられる。しかしながらこのデータは個人の課税情報とリンクしたものであることから、街区や地区等であっても、個人が特定される可能性が高い情報は、データ提供を受けることは難しい。土地建物現況調査も同じであり、一般的には利用が大きく限定されている。
- 3 阪田知彦（2009）基礎自治体での都市計画基礎調査の実施状況と課題,日本都市計画学会都市計画報告集 No.8

## 2-2 既存統計を活用した都市内エネルギー需要の推定

ここでは、前節の分析で明らかとなった課題に対し、環境省の調査資料<sup>1</sup>を参考にして、既存統計を組み合わせて都市内町丁目単位のエネルギー需要状況を推定する。

### 2-2-1 推計方法

町丁目単位のエネルギー需要算出方法として、市全域のエネルギー消費量を全国一律の基準で按分する。この方法は環境省「地球温暖化対策地方公共団体実行計画（区域施策編）策定マニュアル(第1版)簡易版」においても採用されている<sup>2</sup>。簡易マニュアルにおいても、建物用途別延床面積の入手が困難であることを理由に、業種別の従業者数を使用して算定を行っている。この際、自治体ごとのデータ利用制約の違いを勘案し、全国レベルで統一的に整備されている統計データを利用する。

#### (1) 利用するデータ

##### ① 活動量に関する統計

まず、町丁目単位でのエネルギー需要を推計する上で利用可能な統計として、家庭部門については国勢調査、業務部門については事業所・企業統計調査が存在する。国勢調査、事業所企業統計の町丁目集計結果は、総務省ホームページより利用可能であり<sup>3</sup>、利用制約はない。

##### ② エネルギー消費に関する統計データ

エネルギー消費原単位、エネルギー用途別消費割合については、これまで多くの調査・推計データが報告されている。しかしながらこれらのデータは調査方法が調査者によって特定地域の少数サンプルから得たの少なさや特定により把握されたこれまでに多くの調査資料全国的レベルで統一的な手法により調査されたデータソースは限られる。そこで、経済産業省の公式調査資料<sup>4</sup>に記された、世帯あたりエネルギー消費原単位、産業別エネルギー消費原単位原単位を用いる。

## (2) 推定方法

### ① 民生家庭部門

町丁目単位での民生家庭部門のエネルギー需要量をよりの確に把握するために、住宅の建て方および世帯人員によるエネルギー消費量の違い、地方別のエネルギー消費量の違い、を考慮した推計を行う。推計の基本式を以下に示す。

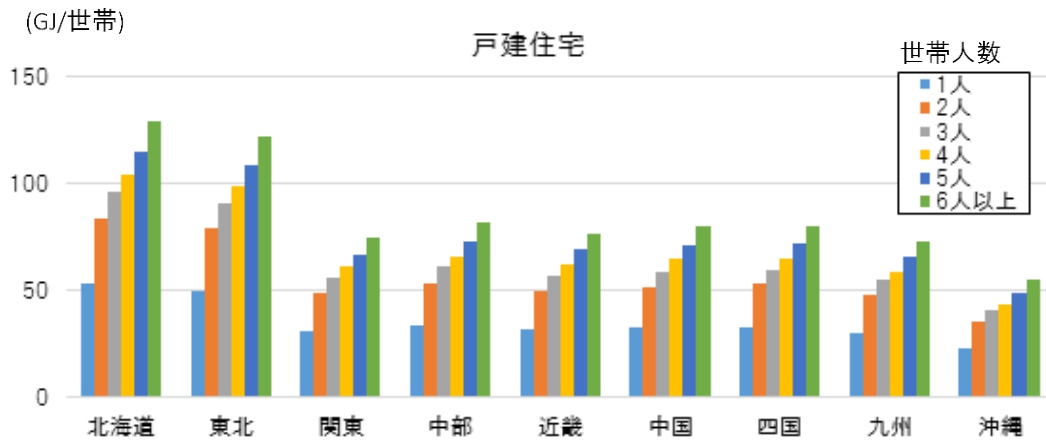
$$\text{電力・熱消費量} = \begin{array}{|c|} \hline \text{総務省:国勢調査(2010)} \\ \hline \text{A. 世帯人員別・建方別} \\ \hline \text{世帯数} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{エネ庁:エネルギー消費状況調査(2012)} \\ \hline \text{B. 地域別・世帯人員別・建方別} \\ \hline \text{エネルギー消費原単位} \\ \hline \end{array}$$

このため、まず、地方のエネルギー消費量の違いを反映した住宅の建て方別・世帯人員別エネルギー消費原単位の作成を行う。また、活動量である町丁目単位での住宅の建て方別・世帯人員別世帯数については、国勢調査（小地域集計）から得られる、住宅の建て方（戸建住宅または集合住宅）別世帯数をもとにした戸建・集合住宅割合を、世帯人員別世帯数（1人～6人以上）に乗じることで作成し、エネルギー消費原単位の区分との対応を図る。

エネルギー消費量の違いを住宅の建て方別・世帯人員別エネルギー消費原単位に対して、以下の手順で反映させる。

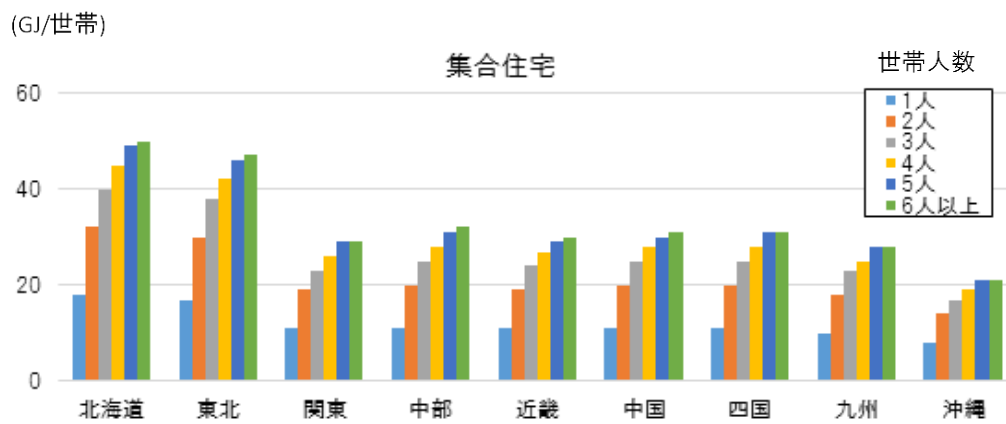
- I. まず、民生家庭部門の地域別エネルギー消費量の平均値と、民生家庭部門の地域別エネルギー消費量の地域区分値との比率を算出する。
- II. 次に、民生家庭部門の地域別エネルギー消費量の平均値と住宅の建て方別（戸建住宅、集合住宅）・世帯人員別のエネルギー消費原単位の平均値との比率を算出する。
- III. 最後に、以上でもとめた2つの比率を、住宅の建て方別（戸建住宅、集合住宅）・世帯人員別のエネルギー消費原単位に掛け合わせ、地域性を反映する。

この方法で作成した、地方別のエネルギー消費量の違いを反映した住宅の建て方別・世帯人員別世帯あたりエネルギー消費原単位を、図 2-2-1, 2-2-2 に示す。



資料：総務省「国勢調査」、資源エネルギー庁「エネルギー消費状況調査」より作成

図 2-2-1 戸建住宅の世帯人数別エネルギー消費原単位



資料：総務省「国勢調査」、資源エネルギー庁「エネルギー消費状況調査」より作成

図 2-2-2 集合住宅の世帯人数別エネルギー消費原単位

また、エネルギー需要量を熱・電力用途へ分割する比率として用いたデータを表2-2-1に示す。

表 2-2-1 民生家庭部門：地方別エネルギー消費割合

|     | 熱・電力需要量【Mcal/m <sup>2</sup> 】 |        |        |       |        |        | 熱・電力比率 |     |
|-----|-------------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-----|
|     | 冷房                            | 暖房     | 給湯     | 厨房    | 動力他    | 合計     | 熱      | 電力  |
| 北海道 | 15                            | 27,034 | 14,252 | 3,267 | 11,214 | 55,782 | 80%    | 20% |
| 東北  | 213                           | 19,617 | 16,346 | 3,665 | 12,892 | 52,733 | 76%    | 24% |
| 関東  | 555                           | 6,158  | 11,476 | 2,928 | 11,464 | 32,581 | 65%    | 35% |
| 中部  | 527                           | 7,553  | 11,827 | 2,941 | 12,593 | 35,441 | 64%    | 36% |
| 近畿  | 642                           | 6,889  | 11,014 | 2,817 | 11,986 | 33,348 | 64%    | 36% |
| 中国  | 609                           | 7,239  | 11,737 | 2,977 | 11,984 | 34,546 | 65%    | 35% |
| 四国  | 741                           | 5,032  | 12,917 | 2,953 | 13,250 | 34,893 | 62%    | 38% |
| 九州  | 773                           | 5,418  | 10,354 | 3,061 | 12,133 | 31,739 | 62%    | 38% |
| 沖縄  | 1,815                         | 198    | 7,613  | 2,999 | 11,086 | 23,711 | 53%    | 47% |

出典：日本エネルギー経済研究所：エネルギー消費状況調査(民生部門エネルギー消費実態調査)平成 20 年度

## ② 民生業務部門

町丁目単位での民生業務部門のエネルギー需要量をよりの確に把握するため、産業別のエネルギー消費量の違い、地方別のエネルギー消費量の違い、を考慮した推計を行う。業務部門における推計の基本式を以下に示す。

$$\text{電力・熱消費量} = \begin{array}{|c|} \hline \text{経済センサス(2009)} \\ \hline \mathbf{C. 業種別} \\ \hline \text{従業者数} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{エネ庁：エネルギー消費状況調査(2009)} \\ \hline \mathbf{D. 業種別従業者あたり} \\ \hline \text{エネルギー消費原単位} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{補正係数} \\ \hline \text{下記} \\ \hline \text{①②③} \\ \hline \end{array}$$

このため、まず地方別のエネルギー消費量の違いを反映した産業分類別エネルギー消費原単位の作成を行う。また、事業所企業統計町丁目集計をもとに、産業分類別の町丁目ごとの従業者数を作成し、エネルギー消費量原単位の区分と対応を図る。

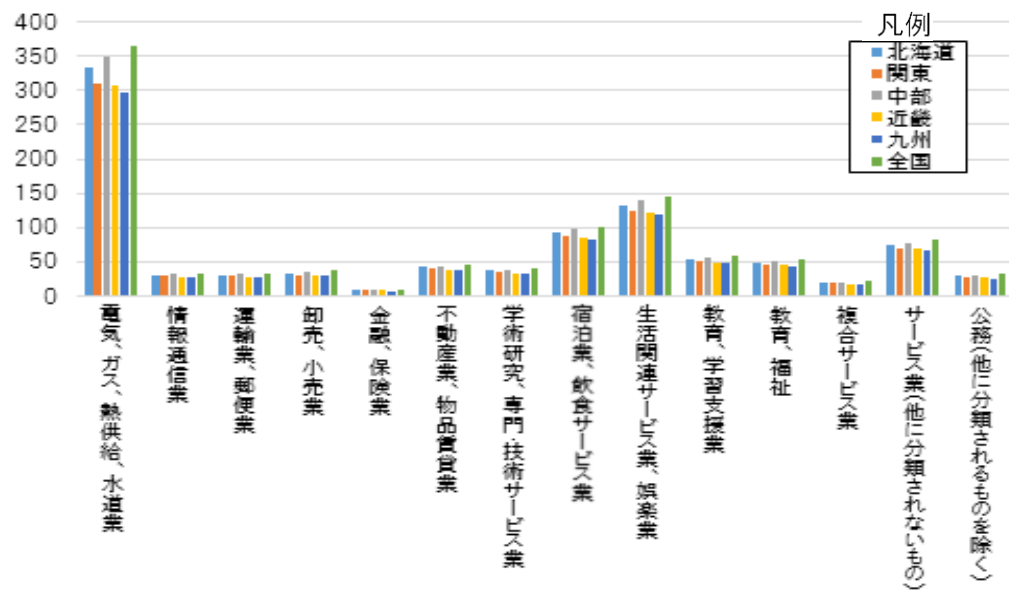
地方別のエネルギー消費量の違いを住宅の建て方別・世帯人員別エネルギー消費原単位に対して、以下の手順で反映させる。

- I. まず、民生業務部門（事務所ビル）の地域別エネルギー消費量の平均値と、民生業務部門（事務所ビル）の地域別エネルギー消費量の地域区分値との比率を算出する。
- II. 次に、民生業務部門（事務所ビル）の地域別エネルギー消費量の平均値と、産業分類別エネルギー消費原単位との比率を算出する。
- III. 最後に、以上でもとめた2つの比率を、産業分類別エネルギー消費原単位に掛け合わせることで、地域性を反映する。

この方法で作成した、地方別のエネルギー消費量の違いを反映した産業分類別エネルギー消費原単位を、図 2-2-3 に示す。



(GJ/人)



資料：総務省「事業所企業統計」、資源エネルギー庁「エネルギー消費状況調査」

図 2-2-3 業種別従業者あたりエネルギー消費原単位

また、エネルギー需要量を熱・電力用途へ分割する比率として用いたデータを表2-2-5に示す。

表 2-2-2 民生業務部門(事務所ビル): 地方別エネルギー消費割合

| 地方  | 熱・電力需要量【Mcal/m <sup>2</sup> ・年】 |      |     |        |           | 熱・電力比率 |     |
|-----|---------------------------------|------|-----|--------|-----------|--------|-----|
|     | 冷房                              | 暖房   | 融雪  | その他熱需要 | 動力・照明・その他 | 熱      | 電力  |
| 北海道 | 28.8                            | 60.7 | 2.4 | 19.5   | 108       | 51%    | 49% |
| 関東  | 49.9                            | 19.3 | -   | 14.8   | 120.3     | 41%    | 59% |
| 中部  | 62.6                            | 21.5 | -   | 23.7   | 121.2     | 47%    | 53% |
| 近畿  | 53.6                            | 19   | -   | 14.1   | 115.6     | 43%    | 57% |
| 九州  | 46.7                            | 23.5 | -   | 9.6    | 116.7     | 41%    | 59% |

出典：日本エネルギー経済研究所(2001)「民生部門エネルギー消費実態調査(業務部門編Ⅰ)」

## 2-2-2 政令市・特別区の都市内エネルギー需要の推定結果

前節の推計方法により、全国町丁目レベルのエネルギー需要分布（熱・電力用途別）を推定することが可能となる。ここでは、政令市、特別区の町丁目別エネルギー需要を算出し、「エネルギー面的利用」の期待地区評価の指標として用いられている「熱負荷密度 > 4.2 TJ/ha」のエリアを図化したものを図 2-2-4～2-2-20 に示す。

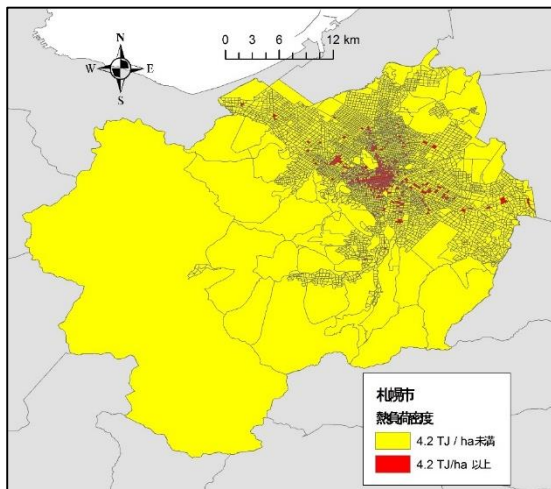


図 2-2-4 札幌市のエネルギー面的利用期待地区

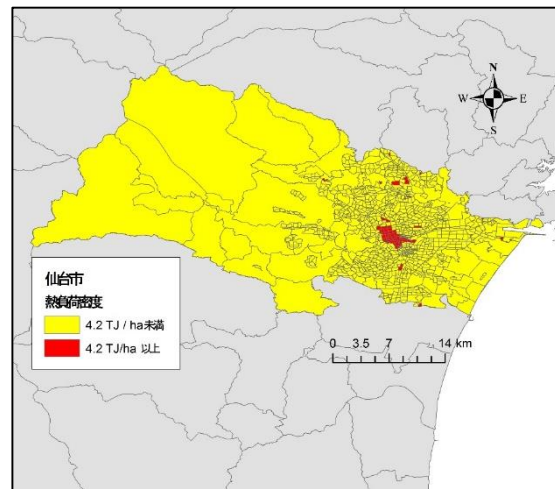


図 2-2-5 仙台市のエネルギー面的利用期待地区

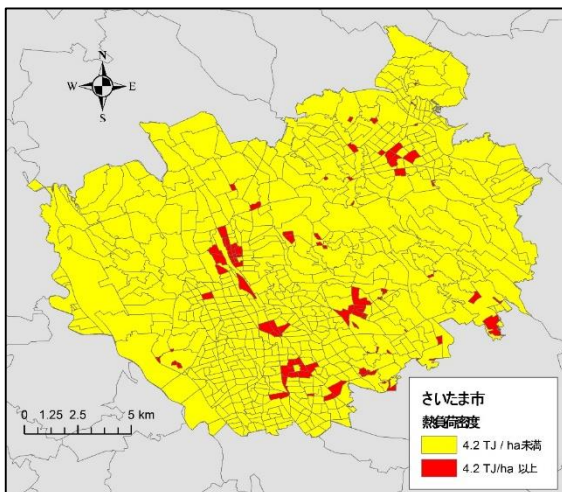


図 2-2-6 さいたま市のエネルギー面的利用期待地区

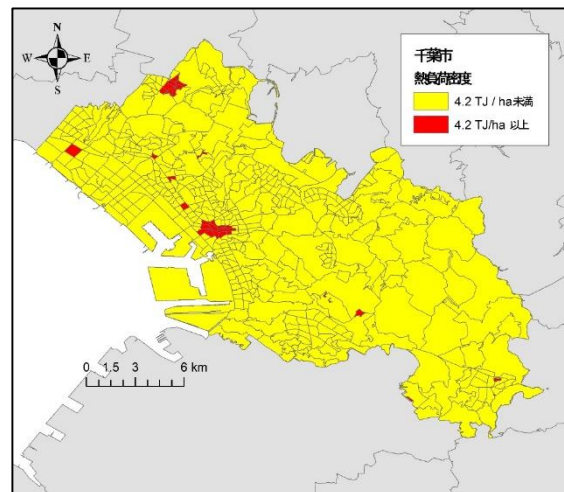


図 2-2-7 千葉市のエネルギー面的利用期待地区

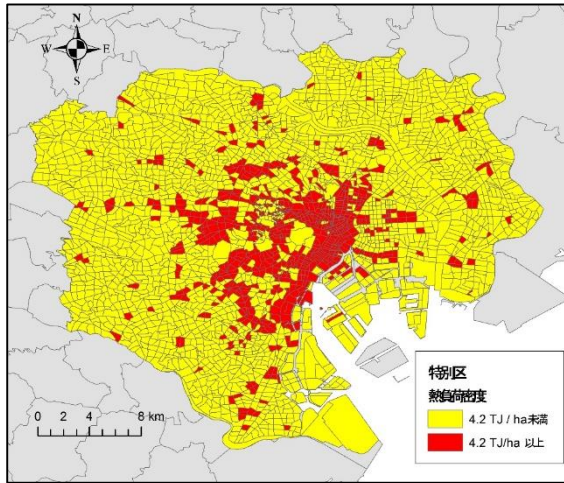


図 2-2-8 東京特別区のエネルギー面的利用期待地区

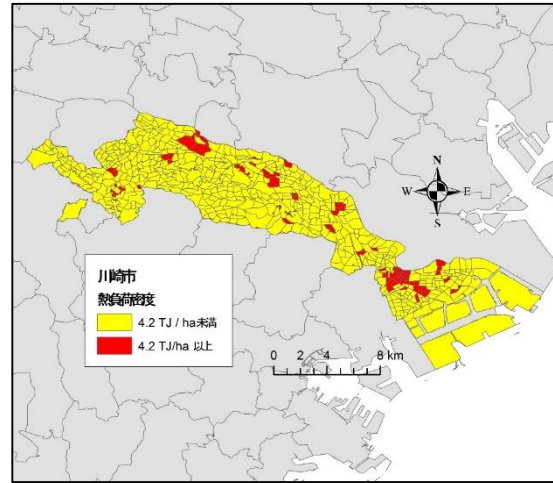


図 2-2-9 川崎市のエネルギー面的利用期待地区

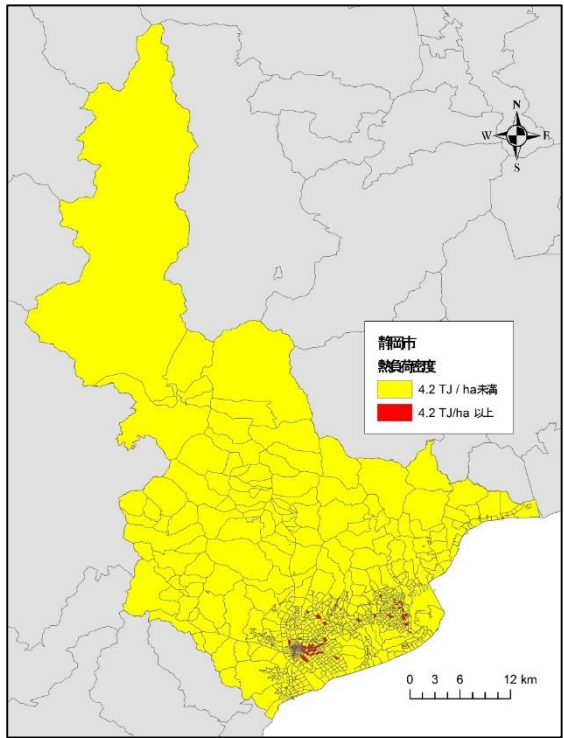


図 2-2-10 静岡市のエネルギー面的利用期待地区

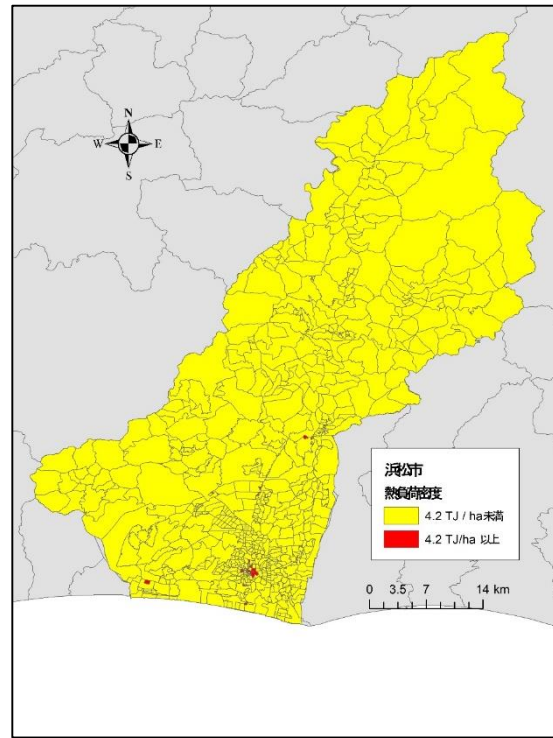


図 2-2-11 浜松市のエネルギー面的利用期待地区



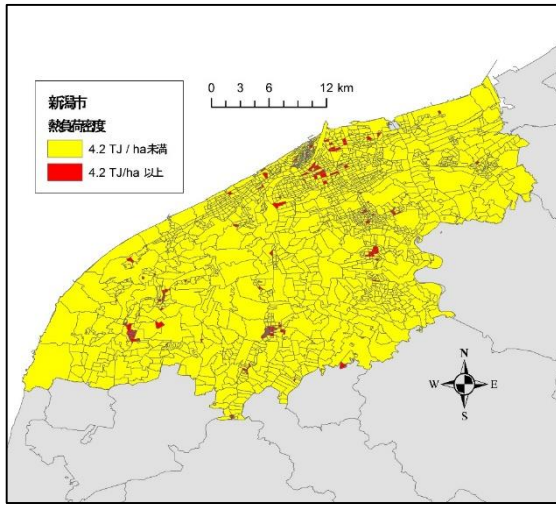


図 2-2-12 新潟市のエネルギー面的利用期待地区

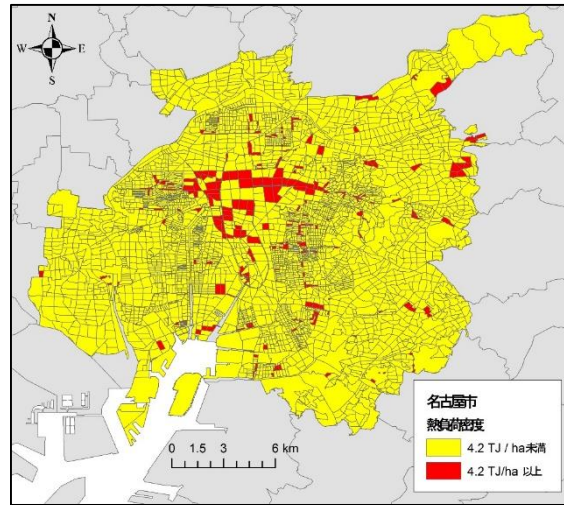


図 2-2-13 名古屋市のエネルギー面的利用期待地区

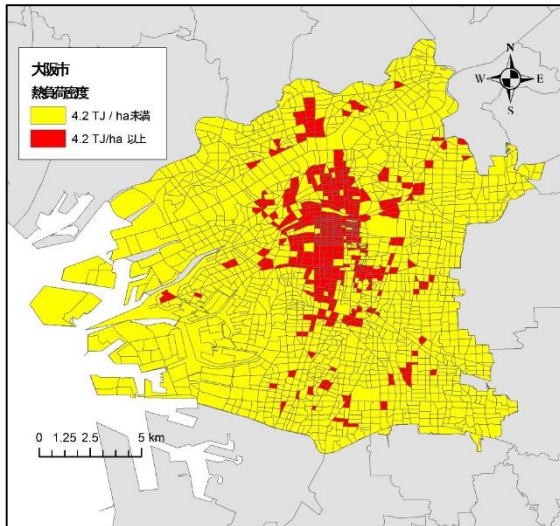


図 2-2-14 大阪市のエネルギー面的利用期待地区

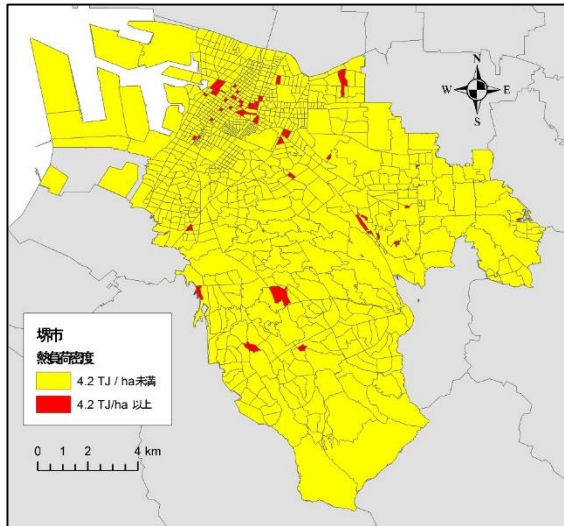


図 2-2-15 堺市のエネルギー面的利用期待地区

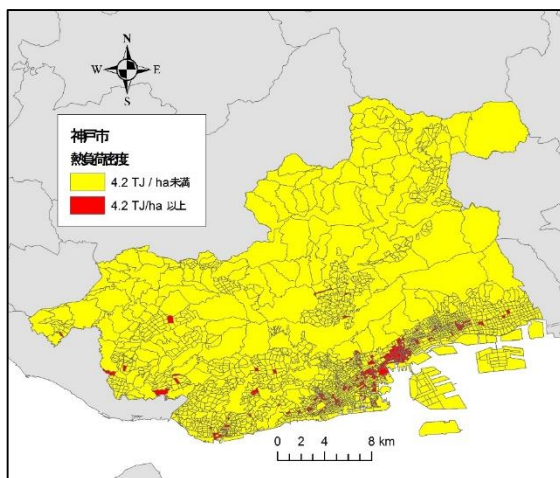


図 2-2-16 神戸市のエネルギー面的利用期待地区

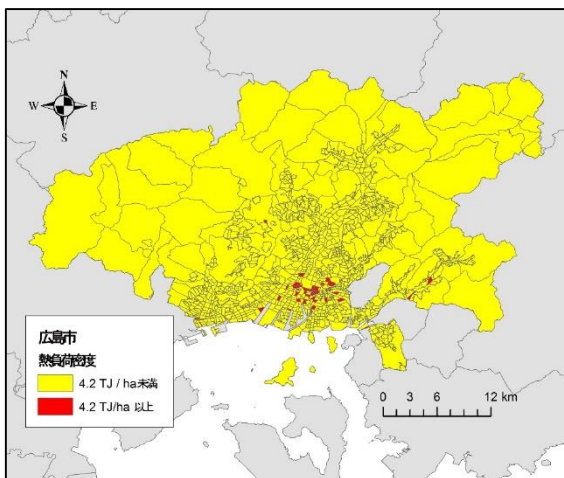


図 2-2-17 広島市のエネルギー面的利用期待地区

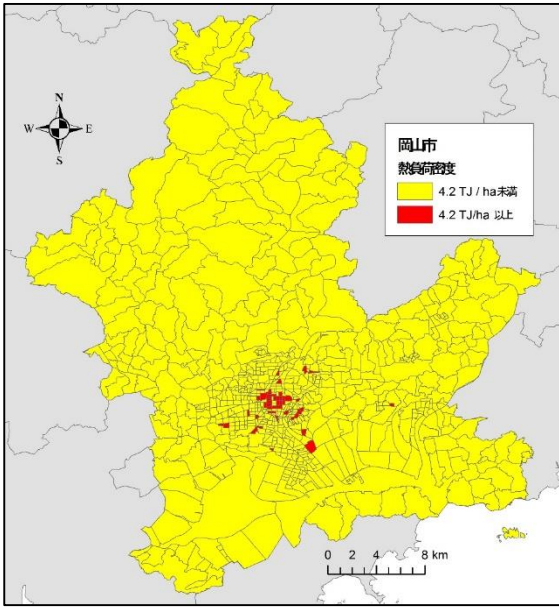


図 2-2-18 岡山市のエネルギー面的利用期待地区

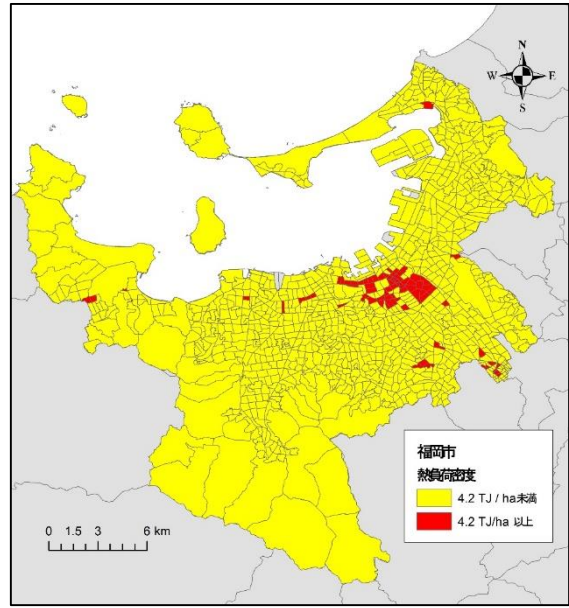


図 2-2-19 福岡市のエネルギー面的利用期待地区

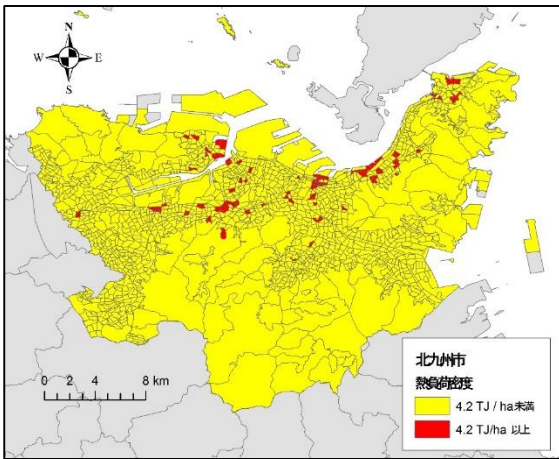


図 2-2-20 北九州市のエネルギー面的利用期待地区

政令市・特別区のエネルギー面的利用期待地区の存在状況の一覧を図 2-2-21 に示す。これより、実面積の点からは、特別区が最も多く「エネルギー面的利用」の期待地区を抱えていることがわかる。ただし、各市の面積には差があるため、これを標準化する指標として「市街化区域面積あたりの占有割合」で比較すると、特別区に次いで、川崎市や大阪市、福岡市などで比較的多くの「エネルギー面的利用」期待地区が存在していることが明らかとなった。これらの都市はエネルギー面的利用のポテンシャルが高い所だと評価でき、今後の都市づくりの機会の中でエネルギー面的利用の検討を積極的に行っていくことが推奨される。一方、千葉市や浜松市、堺市などでは市街化区域内に「エネルギー面的利用」期待地区が 2~3%程度しか存在していない。こうした都市で「エネルギー面的利用」を図る際には、まず市街地の集約化等を通じてエネルギー需要の密度自体を高める必要がある。

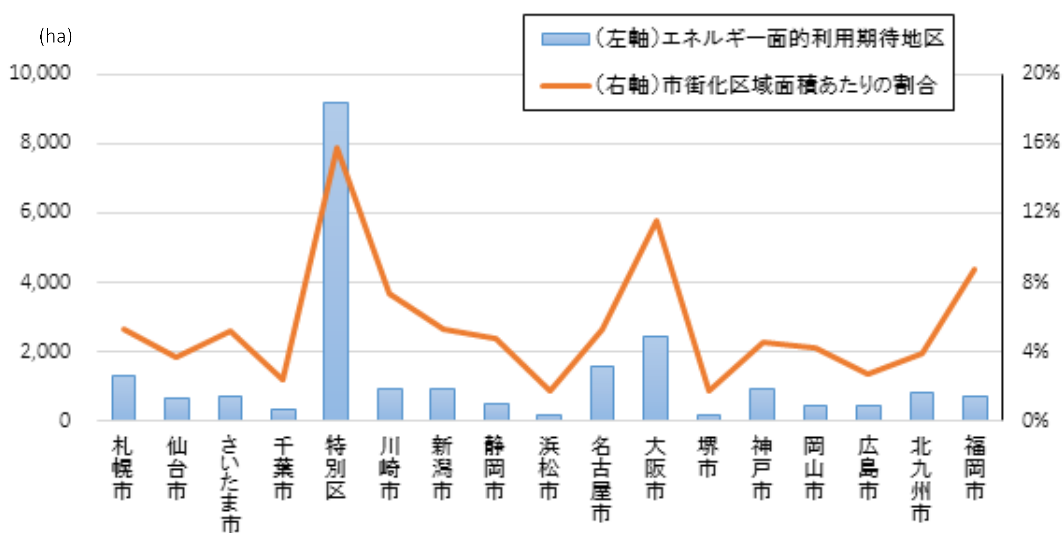


図 2-2-21 政令市・特別区の「エネルギー面的利用」期待地区(熱負荷密度 4.2TJ/ha 以上)の存在状況

- 1 環境省「地方公共団体実行計画(区域施策編)マニュアルに関する低炭素化手法の検討業務報告書」, [http://www.env.go.jp/earth/ondanka/sakutei\\_manual/manual0906.html](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/sakutei_manual/manual0906.html) (2013年6月閲覧)
- 2 環境省(2009)地球温暖化対策地方公共団体実行計画(区域施策編)策定マニュアル(第1版)簡易版
- 3 総務省統計局 WEB サイト, 地図で見る統計(統計G I S)  
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/toukeiChiri.do?method=init> (2013年1月閲覧)
- 4 経済産業省(2010)平成21年度エネルギー消費状況調査, 民生部門エネルギー消費実態調査報告書

## 2-3 まとめ

第2章を通して明らかになった点を以下にまとめる

- ①1章の分析を経て得られた考察として、CO<sub>2</sub>排出削減の必要性が高い大都市で、「エネルギー面的利用」の具体的な施策検討が進んでいない要因の一つに、都市内のエネルギー需要が把握されていないことが考えられた。この仮説を確かめるため、国土交通省の低炭素都市づくりガイドラインの中で示されている建物延床面積、エネルギー負荷・CO<sub>2</sub>排出原単位のデータを用いて都市内のエネルギー需要を把握可能な都市がどれだけあるかを整理した。その結果、いずれも地域別のデータ整備が不足しており、各都市の地域特性が反映されたエネルギー需要を把握することが困難な現状にあることを明らかにした。
  
- ②そこで様々な既存統計や調査データを組み合わせて、仮想的な「エネルギー面的利用」の期待地区を抽出した。この分析においては、東京特別区や大阪市のほか、川崎市や福岡市等の地方都市においても、比較的多くの「エネルギー面的利用」期待地区が存在している状況にあることを明らかにした。

### 第3章 福岡市における地域冷暖房の導入効果と公共施設空間の活用

#### ■はじめに

地球温暖化やオゾン層保護が地球環境に関して重要な事項となっている昨今、地域冷暖房施設は個別建物熱源システムに比べると、CO<sub>2</sub>排出量の抑制やフロン対策の面から、より実効性のある対応が期待できる。また、地域冷暖房の熱供給プラントは、熱の安定供給を確保するため、保安用の発電機が設置されていることが多いことや、大規模の受水や蓄熱を有することが多く、その保有水を防災に用いることができることなどから、それらの特性に加えて防災用通信設備や医療施設としての機能を付与することで、都市の防災拠点として位置づけられる可能性を有している。こうした諸機能・効果の期待される地域冷暖房であるが、近年の事業動向は停滞、減少傾向にある。1970年の事業開始以来、事業地区数は堅調に増加してきたものの、2004年をピークとしてその後は停滞基調にある。また需要家数については、業務は2000年、住宅は2004年まで増加してきたものの、以降現在まで一貫して減少傾向にある。直近2011年度の1事業地区あたりの平均需要家数は約10件となっており、これ以上の需要家減少は、地域冷暖房の利点であるスケールメリットを活かした省エネ効果、環境負荷低減効果が得られなくなってしまう可能性が考えられる。こうした事業停滞、需要家減少の要因として、地域冷暖房事業者の多くが「熱料金」に課題意識を持っていることが既往研究において明らかにされている。したがって地域冷暖房の今後の推進・普及を考えていくためには、高効率機器の開発など技術的な対策をさらに進めると同時に、それらを市場へと普及させていくための制度面のからの対応を検討することが重要となる。

そこで本章は、2章の分析結果から、地方都市圏の中でもエネルギー面的利用を図ることのポテンシャルが高いと評価された福岡市を対象として、環境負荷低減性の期待される地域冷暖房を市場に受け入れられやすい価格で提供するための方策を検討する。

本章の論点は以下の通りである。

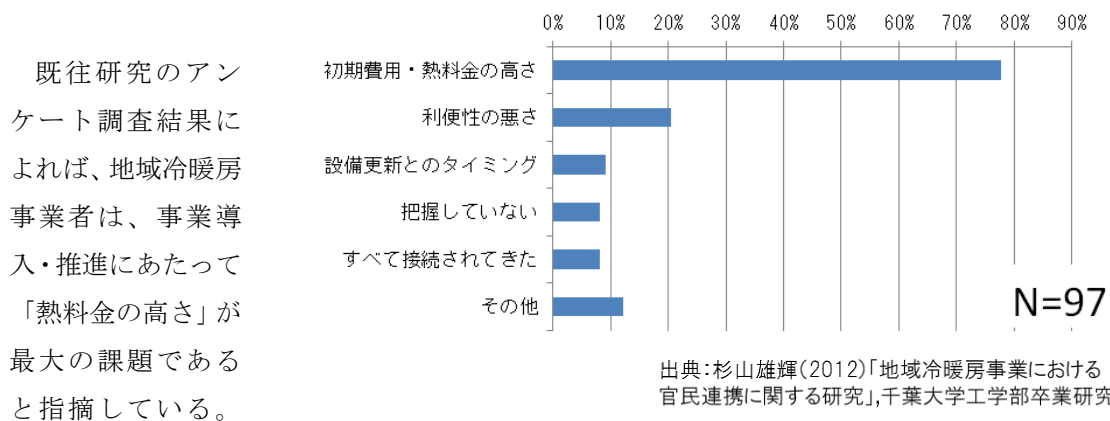
- ①日本の地域冷暖房事業が抱える課題について既往研究をもとに整理するとともに、福岡市の都市現況と低炭素都市づくりに係る施策体系の関係を明らかにすること
- ②福岡市内の地域冷暖房導入が期待できる地区において、仮に事業が行われた場合の効果を明らかにし、それを実現するための方策として公共空間での率先的事業展開の可能性を考察すること



### 3-1 日本の地域冷暖房事業の実態と課題

現在、日本国内で地域冷暖房事業を行っている地区は140箇所存在する。これら現在稼働中の地域冷暖房事業がどのような課題を有しているのか、既往研究のアンケート調査結果<sup>1)</sup>において明らかにされていることをまとめる。

#### 3-1-1 地域冷暖房事業の接続需要家数増加に向けての課題要素



(図 3-1-1)

図 3-1-1 地域冷暖房の事業導入・推進上の課題

この「熱料金の高さ」という課題に対して、大都市に立地する事業者は「熱導管接続義務化」「電気事業自由化の推進」など事業環境の改善を求める傾向にあり、規模の小さい地方都市に立地する事業者は「DHC 区域開発の促進」「需要の創出」などを求める傾向にあるとされている(図 3-1-2)。このような傾向が見られるのは、規模の大きな都市では需要が十分にあるため、需要の創出ではなく、接続に課題があるということ、逆に地方都市では需要の創出が課題であるということが考えられる。

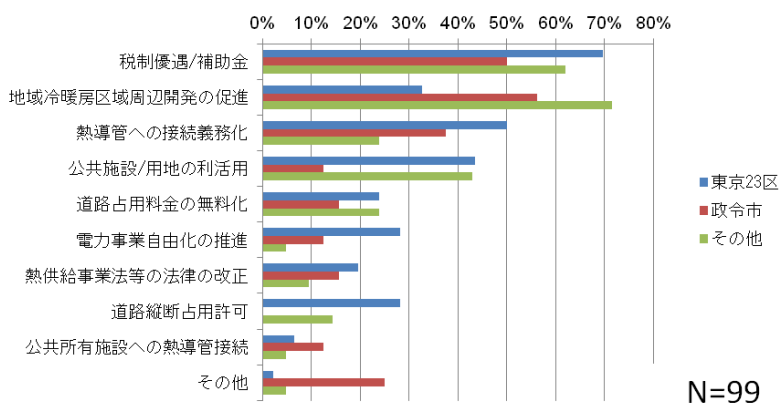


図 3-1-2 事業者が行政に期待する支援

#### 【補注】

1 杉山雄輝 (2012) 「地域冷暖房事業における官民連携に関する研究」, 千葉大学工学部卒業研究

## 3-2 福岡市を対象とした地域冷暖房事業の展開の検討

### 3-2-1 福岡市の位置づけ

#### (1) 部門別排出量の状況

政令市の部門別排出量の構成比を図 3-2-1 に示す。各都市のデータは、それぞれの都市が公表する計画書から収集した。このデータを利用して、クラスター分析を適用した。グループの特定にはウォード法、平方・ユークリッド距離を採用し、3 グループに分類した。解析はすべて JMP バージョン 6 を使用した。

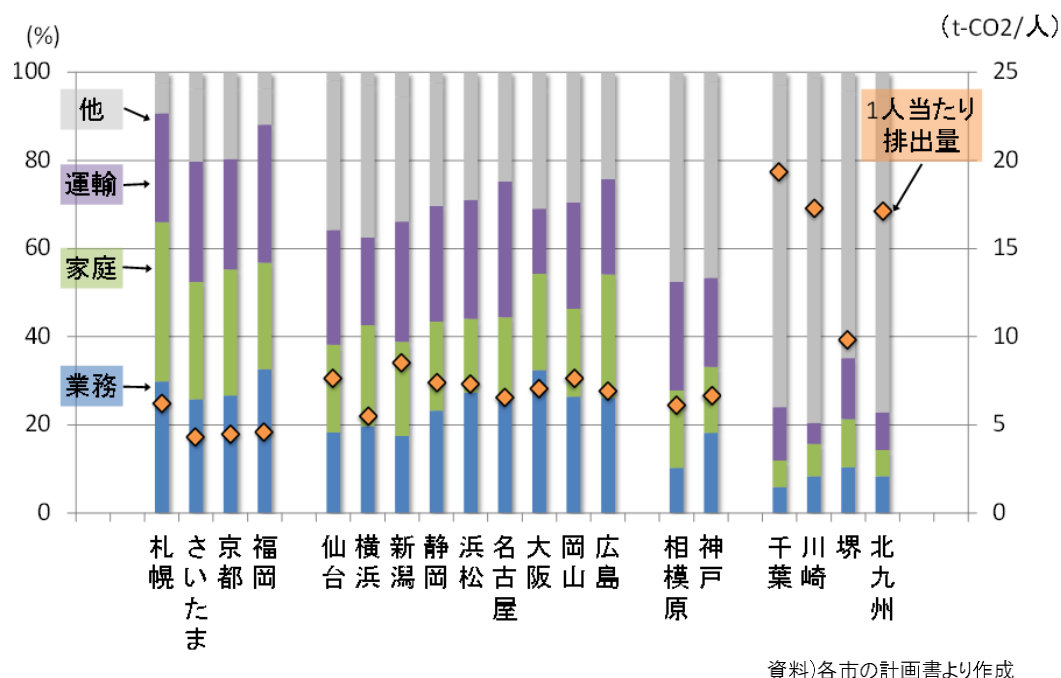


図 3-2-1 政令市の部門別排出量構成比の比較

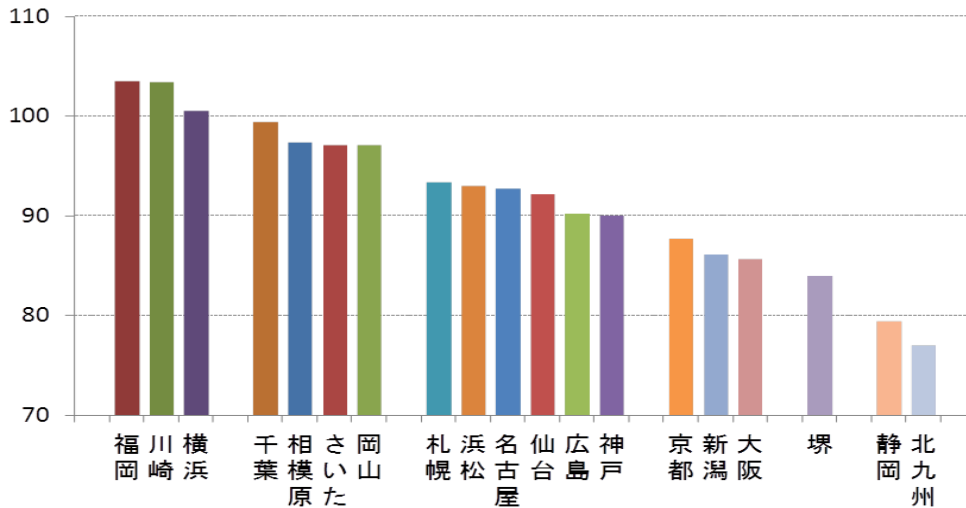
各グループの特徴を以下に示す。グループ A は、4 都市が該当し、家庭・業務・交通といった、都市活動に起因する排出量が中心であり、それが 80%以上を占める。グループ B・C は、9 都市が該当し、多様な産業を抱える都市である。近年、政令市に昇格した都市が多く含まれる。グループ D は、4 都市が該当し、産業部門による排出量が中心であり、それが 80%これら都市部門の排出割合が高い都市では、他の政令指定都市に比べて面的対策に取り組むことによる CO<sub>2</sub>削減効果が大きく期待できる都市だと考えられる。一方、都市部門からの排出割合が最も低いグループ D には、千葉市・川崎市・堺市・北九州市の 4 市が該当する。これらは市全体の排出量のうち都市部門からの排出割合は 30%未満となっている。これらの都市は産業部門における排出量が支配的となっているため、民生・運輸部門の排出量削減に寄与する面的対策に

より得られる CO<sub>2</sub> 削減効果は限定的であると考えられる。

これら 3 市は他都市に比較して CO<sub>2</sub> 削減により重点的に取り組んでいく必要のある都市と言える。

## (2) 将来的な排出量増加の可能性

次に、今後、都市部門の排出量が増加する可能性を明らかにする。図 3-2-2 は、「2005 年時の人口を 100 とした場合の、2035 年時の将来人口指数」を示したものである。これより、都市部門由来の排出量が今後の将来人口に比例して変化していくと仮定した場合、現在より排出量の増加が見込まれる都市は、福岡市・川崎市・横浜市である。これら 3 市は、他都市に比較して CO<sub>2</sub> 削減により重点的に取り組んでいく必要のある都市と言える。



資料)人口問題研究所「市町村別将来推計人口」より作成

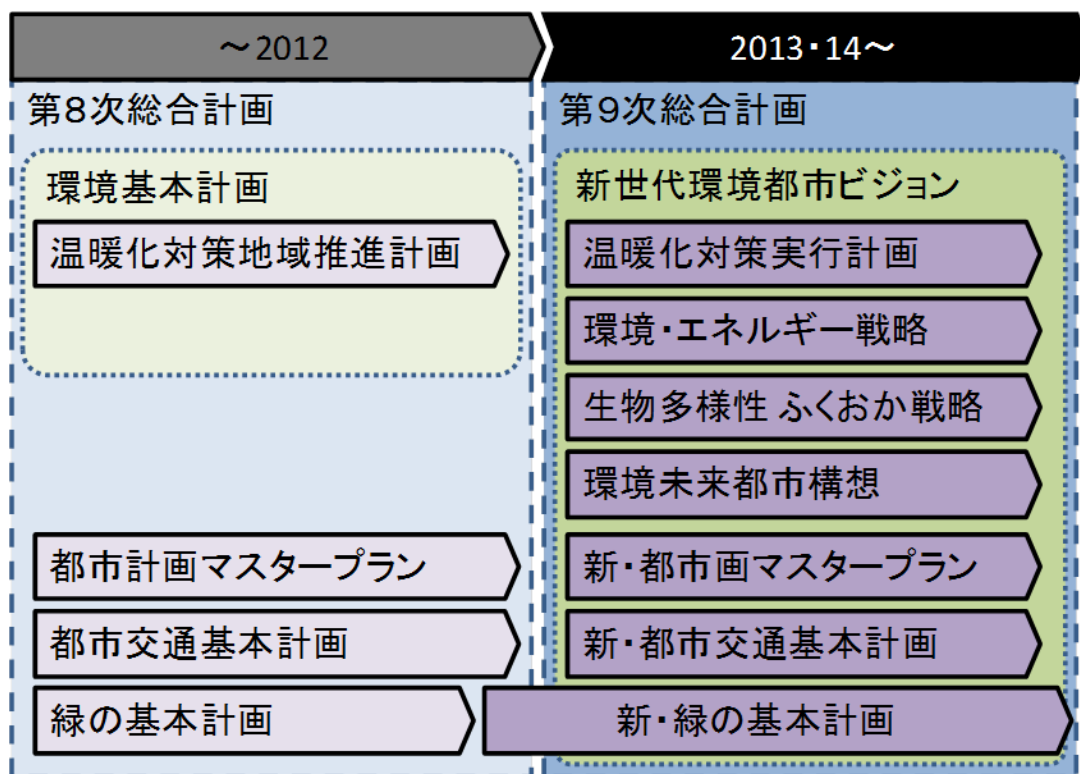
図 3-2-2 政令市の 2035 年における人口指数の比較

## (3) 福岡市の政策内容

前項の数量データを用いた分析では、都市部門由来の排出量比率が高く、今後の CO<sub>2</sub> 排出量増加の可能性が高い都市として「福岡市」が該当した。そこで次に、福岡市の温暖化対策に係わる政策動向を見る。

図 3-2-3 は、福岡市の策定している各種行政計画のうち、温暖化対策に係わる計画を示したものである。これより、2012 年までの計画体系は、地球温暖化対策地域推進計画のみとなっている。地域推進計画で計上されている施策は、個別対策が主であり、面的対策や都市計画と連携した施策は検討されていない。しかしながら今般行われた第 9 次総合計画の改訂を契機に、市としての温暖化政策体系の総合的見直しが現在行われている。新規に策定される「新世代環

境都市ビジョン」や「環境エネルギー戦略」では、従来の地域推進計画では計上されていなかった面的対策や都市計画との連携といった施策を盛り込む方向で素案作成が行われている。



資料)福岡市の行政計画資料より作成

図 3-2-3 福岡市の温暖化対策に係わる政策体系

### 3-3 福岡市における低炭素型都市づくりのシミュレーション分析

ここでは、福岡市を対象に、4次メッシュ(500m×500m)を一つの熱供給区域として熱需要密度からDHC導入適地を抽出し、DHCを導入した場合のCO<sub>2</sub>排出削減量を推計する。

#### (1) 福岡市におけるDHC導入適地

DHC導入の条件として熱需要量が高密度に存在することが重要となる。そこで、既往研究を参考に、導入適地条件としての最低熱需要密度は4.2[TJ/ha]と設定した。熱需要量は福岡市のGISデータを用いて、DHCへの接続が可能である延床面積3,000㎡以上の建物を対象に、用途別延床面積に用途別熱需要原単位を乗じて算出した。

表3-3-1に福岡市GISデータの建物用途分類と使用した用途別熱需要原単位を対応させたものを示す。GISデータでは文教厚生施設と分類されているが、使用した原単位が医療・文化・教育と更に細かく分類されているため、対応させることが困難となっている。そこで、文教厚生施設に①医療施設の原単位、②文化施設の原単位、③教育施設の原単位、④医療、文化、教育の3つの原単位の平均の値を対応させた4パターン用意し、パターンごとに導入適地数とCO<sub>2</sub>排出削減効果を推計した。

表 3-3-1 GIS・原単位用途分類対応

| 福岡市GISの用途分類 | 熱需要原単位分類 | MJ/m <sup>2</sup> ・年 |
|-------------|----------|----------------------|
| 住宅          | 住宅       | 348.6                |
| 共同住宅        |          |                      |
| 店舗併用住宅      |          |                      |
| 店舗併用共同住宅    |          |                      |
| 作業所併用共同住宅   |          |                      |
| 業務施設        | 業務       | 562.8                |
| 官公庁施設       |          |                      |
| 商業施設        | 商業       | 533.4                |
| 商業系用途複合施設   |          |                      |
| 宿泊施設        | 宿泊       | 2028.6               |
| 娯楽施設        | 娯楽       | 743.4                |
| 遊戯施設        |          |                      |
| 文教厚生施設      | ①医療      | 1717.8               |
|             | ②文化      | 541.8                |
|             | ③教育      | 331.8                |
|             | ④平均      | 863.8                |

資料)プロジェクト 2010 日本全国地域冷暖房導入可能性調査

表 3-3-2 にパターンごとの DHC 導入適地数、図 3-3-1,2,3,4 にパターンごとの DHC 導入適地を示す。

医療の原単位を対応させたパターン①の導入適地数が最も多く 39 メッシュ、文化の原単位を対応させたパターン②が 27 メッシュ、教育の原単位を対応させたパターン③が 23 メッシュ、3つの原単位の平均を対応させたパターン④が 33 メッシュ抽出された。

表 3-3-2 パターン別の DHC 導入適地数

| 熱需要密度[TJ/ha] | パターン① | パターン② | パターン③ | パターン④ |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| 0-2.1        | 1417  | 1453  | 1459  | 1440  |
| 2.1-4.2      | 56    | 32    | 30    | 39    |
| 4.2-         | 39    | 27    | 23    | 33    |

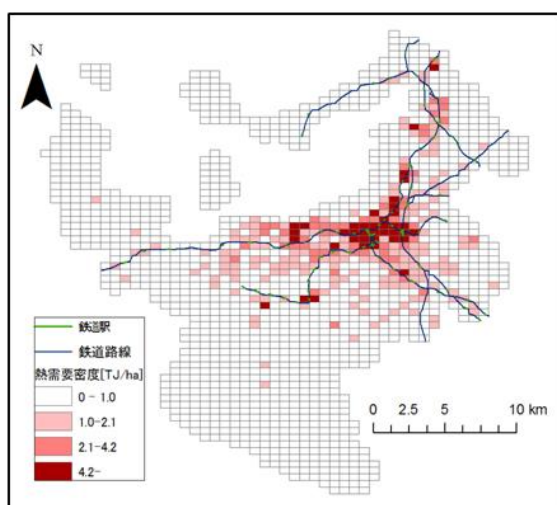


図 3-3-1 DHC 導入適地(パターン①)

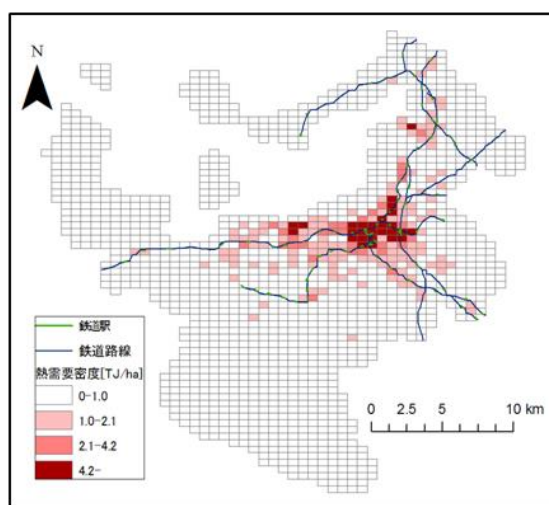


図 3-3-2 DHC 導入適地(パターン②)

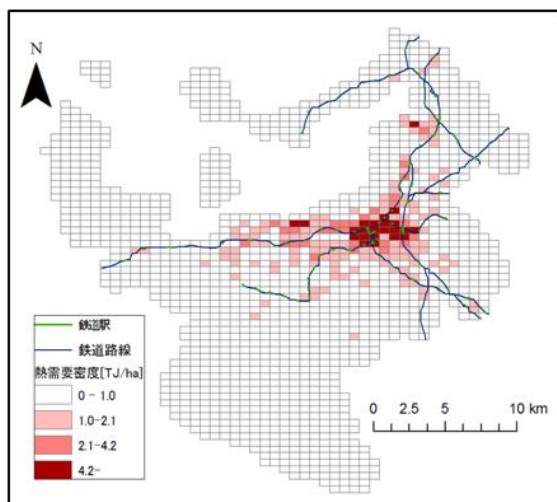


図 3-3-3 DHC 導入適地(パターン③)

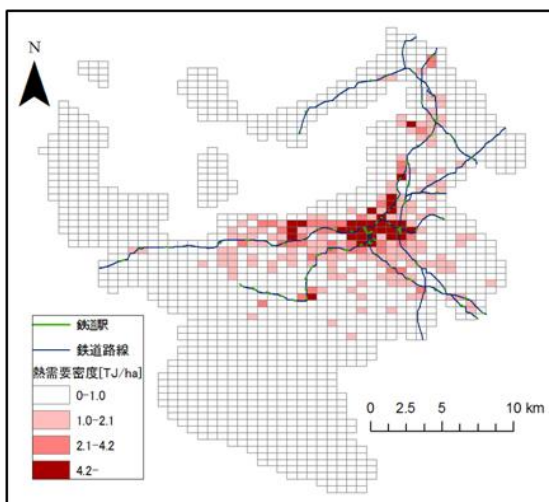


図 3-3-4 DHC 導入適地(パターン④)

## (2) CO<sub>2</sub> 排出量削減可能性

ここでは、シナリオごとに抽出したメッシュ内の延床面積 3,000 m<sup>2</sup>以上の建物が、DHC に接続した場合においてどのくらい CO<sub>2</sub> 排出量削減が可能であるかを推計する。CO<sub>2</sub> 排出削減量は以下の手順に従い推計した。

1. GIS を用いてメッシュ内の 3,000 m<sup>2</sup>以上の建物の用途別延床面積を算出する。
2. CO<sub>2</sub> 排出量を推計する。これは①で求めた用途別延床面積に延床面積当たりの CO<sub>2</sub> 排出原単位(表 3-3-3)を乗じることで推計する。
3. DHC 導入による CO<sub>2</sub> 排出削減量を推計する。

削減効果を求めるにあたり、DHC と一般個別熱源との COP の比較を行う(表 3-3-4)。個別熱源の COP は DHC 導入 COP の 0.901 倍となっている<sup>1</sup>。つまり、DHC への接続によって一般的な個別熱源の場合と比較して、エネルギー消費量が 9.9%削減されることとなる。したがって、CO<sub>2</sub> 排出量も 9.9%削減され、②で求めた現況の CO<sub>2</sub> 排出量に乗じることで削減量を推計する。

推計の結果、表 3-3-5 より、福岡市に DHC を導入した場合、約 68,000~88,000[t-CO<sub>2</sub>]削減が可能であることが明らかとなった。

表 3-3-3 用途別 CO<sub>2</sub> 排出原単位

|      | 原単位  | 単位                                    |
|------|------|---------------------------------------|
| 住宅   | 26.4 | [kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ] |
| 業務施設 | 100  | [kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ] |

資料)福岡市 HP より作成

表 3-3-4 熱源別 COP

|               |       |
|---------------|-------|
| (a)個別熱源COP    | 0.675 |
| (b)DHC導入COP   | 0.749 |
| (a)/(b)       | 0.901 |
| (c) 2-(a)/(b) | 0.099 |

資料)未利用エネルギー面的活用熱供給の実態と次世代に向けた方向性

表 3-3-5 パターン別 CO<sub>2</sub> 排出削減効果

|       | 現況CO <sub>2</sub> 排出量<br>[t-CO <sub>2</sub> ] | DHC導入時CO <sub>2</sub> 排出量<br>[t-CO <sub>2</sub> ] | CO <sub>2</sub> 排出削減量<br>[t-CO <sub>2</sub> ] | 削減率<br>[%] |
|-------|---|---|---|------------|
| パターン① | 1238185                                       | 1150560   | 87625   | 7.08       |
| パターン② | 1049568                                       | 974314  | 75254   | 7.17       |
| パターン③ | 954642  | 886564  | 68078   | 7.13       |
| パターン④ | 1167718                                       | 1084831   | 82887   | 7.10       |



### (3) 公共施設活用による CO<sub>2</sub> 排出量削減可能性

ここでは、GIS を用いて公共施設が集積している地域を抽出し、抽出された地域において DHC を導入した場合の CO<sub>2</sub> 排出削減量を推計することで、公共施設活用型 DHC の削減効果を明らかにする。

需要家に DHC への接続を促すためには、①需要家への加入インセンティブの強化、②熱料金に対する割高感の解消の主に 2 点が重要となってくる。加入インセンティブの強化策としては、容積率割増や税制優遇・補助金制度が考えられるが、福岡市は近くに空港があるため航空法により容積割増が規制されている。また、行政の財政を圧迫することから税制優遇・補助金制度も実際に実施するのは困難であると考えられる。そこで、熱料金に対する割高感の解消のための熱料金の低廉化、プラント賃料の削減に向けて、公共施設・用地の積極的な利活用が重要となってくると考えられる。

そこで、パターン④の 33 メッシュを対象に公共施設が集積している地域を抽出し、その地域における DHC 導入効果を推計する。公共施設が多いメッシュは、官公庁施設と公共的サービスを行っている施設が多い文教厚生施設の割合が 15%以上を占めるメッシュにおいて、地図上で公共施設の有無を調べた結果、10 地区が抽出された。

次に、福岡市内の公共施設の割合が多い 10 地区において DHC 導入シミュレーションを行い、公共施設活用による削減効果を推計する。

結果、図 3-3-5 より 10 地区の総 CO<sub>2</sub> 排出削減量は約 20,000[t-CO<sub>2</sub>]であることが明らかとなった。

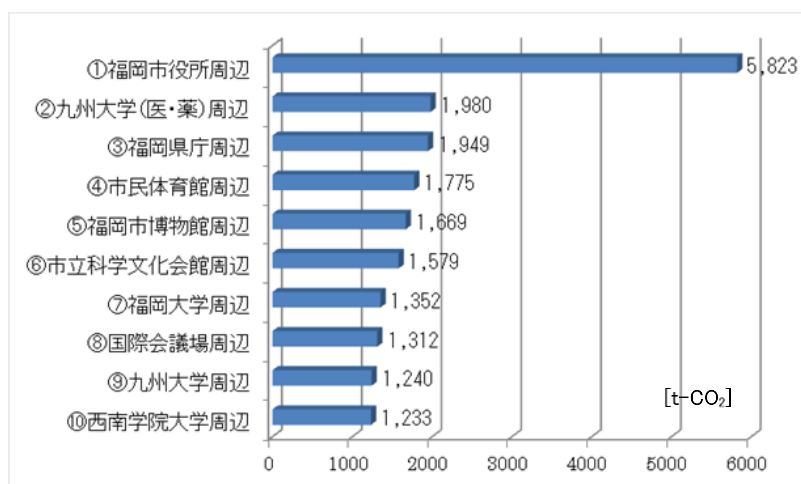


図 3-3-5 公共施設周辺地域における DHC 導入効果

#### 【補注】

1 福岡市（2005）福岡市地球温暖化対策地域推進計画（第三次）,p.39



### 3-4 まとめ

第3章を通して明らかになった点を以下にまとめる。

- ①福岡市のケーススタディから得られた、公共施設・用地の利活用による約 20,000t-CO<sub>2</sub> の削減効果は、他の政令指定都市においても同様の効果が期待できると考えられる。福岡市と似た排出構造をもつ札幌市や京都市での検討が特に有用であろう。また今回、政策体系の見直し時期に差し掛かっていたことから福岡市の掲げる CO<sub>2</sub> 削減目標、再エネ導入目標との比較を行うことは叶わなかったものの、こうした目標に対してどの程度の貢献を果たす施策かを今後明らかにしていくことも必要である。
- ②CO<sub>2</sub> 排出量削減を実現化していくためには、都市づくりにおいて CO<sub>2</sub> 排出量削減を実現することがどれほど優先順位の高いものか明らかにする必要がある。それは、低炭素型市街地形成は環境・エネルギーサイドだけで出来るものではなく、分野を超えた連携の必要性が高いためであり、環境サイドだけのアプローチでは建物単体での対応を行うケースが多く、より削減効果の大きな面的エネルギーを考えるためには両者の連動が必要となる。

## 第4章 東京特別区におけるコージェネレーションを用いた地域エネルギー供給の評価

### ■はじめに

3.11以降、電力不足への対応が喫緊の課題となっている我が国では、需要に対していかに効率的に電力供給を行うかが大きな課題となっている。震災で明らかとなった課題を踏まえた新しい「エネルギー基本計画」では、エネルギー政策の方向性として分散型次世代エネルギーシステムの構築をこれまで以上に促進していく方向で検討されており、数ある分散型電源の中でもコージェネレーション（以下、「CHP」）への関心が高まっている。従来、CHPは省エネルギー・低炭素といった環境面での社会貢献機能を根拠として政策的バックアップが行われてきた。今般新たに防災面での機能が付加されたことを受け、その導入・運用方策に関して一層多角的な視点からの研究蓄積が必要とされている。CHPの導入・運用方策と都市づくりとの関係という視点でいえば、CHPによる街区・地区単位での面的エネルギー供給（以下、「地域CHP」）が有効とされている。地域CHPの実現には、市街地の空間構造や更新機会、そして将来的に形成される市街地像が大きく関係するため、土地利用計画との連携を図ることが重要となる。しかし我が国の一般市街地は、敷地単位を中心とした土地利用規制制度のもとに構成・更新が行われ、明確な将来市街地像を持つエリアは極めて少ない。

これまで、都市エネルギーシステムと市街地空間構造の関係を扱った研究としては、空間構造の違いにより面的CHPの導入適否がどのように変化するかを仮想の市街地を想定して分析したもの、建物ストック特性に基づく地区分類ごとに複数のエネルギーシステム更新シナリオを評価したもの、将来の土地利用変化の予測を行いそれに対応するエネルギーシステムを提案しているもの等がある。しかしながら、市街地構成と連動しながら、最適な規模で運用するエネルギーシステムのあり方は明らかではない。そこで、本章は、面的CHPの導入によって実現する最適な市街地のあり方を明らかにすることを目的とする。なお、研究対象地は、エネルギー融通による負荷平準化需要が大きい地域や、すでに地域熱供給を行っている地域が多く存在し、地域エネルギー供給の導入と連携の可能性が高いと考えられる東京都23区とした。

本章の論点は以下の通りである。

- ①東京都区部の中で、CHPを用いたエネルギー面的利用の導入期待地区はどこに存在するかを明らかにすること
- ②長期的視野のもとで計画・立案を図ることが必要なエネルギー面的利用に対して、現行の土地利用規制制度はどのような課題を抱えているか。

## 4-1 電力・熱負荷特性による東京都 23 区の地区分類

東京都は区部、多摩地域、島嶼部など多様な特徴をもった地域が存在する。また、都区部内においても土地利用特性の違いによりエネルギー需要特性が大きく異なっている。同時に、どのような地区単位を基準として計画を立案するかによっても導入適地として選出されるエリアは異なる。地区単位の設定方法には様々なものが考えられるが、ここでは既往研究を参考に4次メッシュ（500m×500m）の地区サイズを分析の基本単位として電力・熱負荷特性の把握を行う。

### 4-1-1 クラスタ分析による地域類型化

#### (1) エネルギー需要原単位

地域エネルギー供給システムのシミュレーションを行うためには地域の各月時刻別のエネルギー(電力・冷温熱別)需要を把握することが不可欠である。文献<sup>2)</sup>には各建物用途別のエネルギー需要原単位が示されているが、このデータは20年弱前のデータであり、また全国の値として示されていることから現在の東京都のエネルギー需要とは大きく乖離している可能性がある。

そこで、本研究では図4-1-1に示したようなフローによって東京都の公表資料<sup>3)</sup>から建物用途別のエネルギー需要原単位の作成を行った。表4-1-1に図4-1-1中の①～⑤を示す。

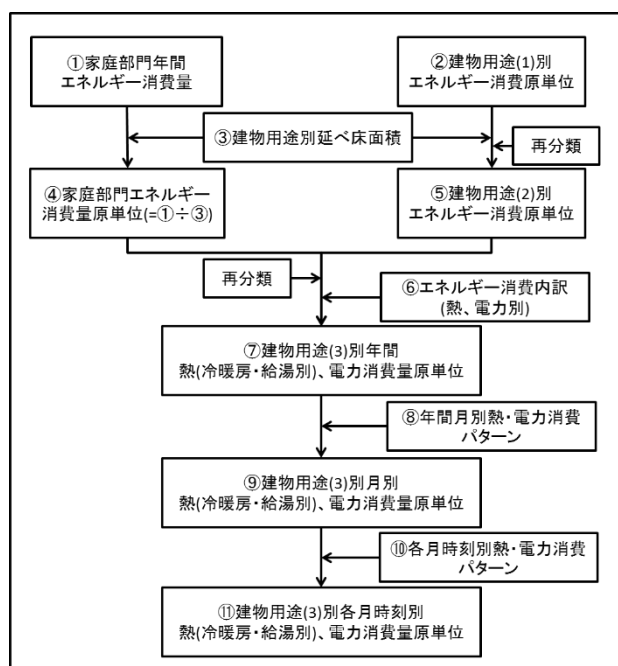


図 4-1-1 エネルギー消費原単位の作成フロー

表 4-1-1 建物用途別エネルギー消費原単位

| 建物用途分類(1) | 年間エネルギー消費量<br>[TJ] | 延べ床面積<br>[万 m <sup>2</sup> ] | 建物用途分類<br>(2) | エネルギー消費原単位<br>[MJ/m <sup>2</sup> ] |
|-----------|--------------------|------------------------------|---------------|------------------------------------|
| 住宅        | 216968             | 37680                        | 住居(①)         | 576                                |
| 事業所ビル     | 154708             | 11855                        | 業務(③)         | 1305                               |
| 大型小売店     | 4461               | 215                          | 商業(④)         | 1997                               |
| その他の卸・小売業 | 10052              | 943                          |               |                                    |
| 飲食店       | 25855              | 863                          | 宿泊(⑤)         | 2212                               |
| ホテル       | 16192              | 732                          | 教育(⑨)         | 464                                |
| 学校        | 18769              | 4045                         | 医療(②)         | 2170                               |
| 病院等       | 14040              | 647                          | 娯楽(⑥)         | 1912                               |
| その他のサービス  | 29120              | 1523                         | 文化(⑦)         | 1912                               |
|           |                    |                              | スポーツ(⑧)       | 1912                               |

資料)東京都環境局「東京の温室効果ガス排出量 2020 年推計と部門別削減量」

表 4-1-2 に示す東京都の建物現況を建物用途分類(3)に再分類を行い、表 4-1-1 のエネルギー消費原単位を用いて表 4-1-3 に示した計算により建物用途分類(3)のエネルギー消費原単位を求めた。このエネルギー消費原単位に対して表 4-1-4 のエネルギー利用形態別の消費割合と図 4-1-2、4-1-3 に示したような月・時刻別のエネルギー消費パターン<sup>2)</sup>を掛け合わせるにより各月時刻別のエネルギー利用形態別エネルギー消費原単位を建物用途別に算出した。

表 4-1-2 建物用途分類の対応

| 平成 18 年度建物現況(区部) |        | 建物用途分類(3) |
|------------------|--------|-----------|
| 主用途              | 細分類用途  |           |
| 官公庁施設            | -      | 業務        |
| 教育文化施設           | 教育施設   | 教育        |
|                  | 文化施設   | 文化        |
|                  | 宗教施設   | 文化        |
| 厚生医療施設           | 医療施設   | 医療        |
|                  | 厚生施設   | 医療        |
| 供給処理施設           | 供給施設   | そのほか      |
|                  | 処理施設   | そのほか      |
| 事務所建築物           | -      | 業務        |
| 専用商業施設           | 商業施設   | 商業        |
|                  | 公衆浴場等  | そのほか      |
| 住商併用建物           | -      | 住商併用      |
| 宿泊・遊興施設          | 宿泊施設   | 宿泊        |
|                  | 遊興施設   | 娯楽        |
| スポーツ・興行施設        | スポーツ施設 | スポーツ      |
|                  | 興行施設   | 娯楽        |
| 独立住宅             | -      | 住居        |
| 集合住宅             | -      | 住居        |
| 専用工場             | -      | そのほか      |
| 住居併用工場           | -      | 住工併用      |
| 倉庫運輸関係施設         | 運輸施設等  | そのほか      |
|                  | 倉庫施設等  | そのほか      |
| 農林漁業施設           | -      | そのほか      |

表 4-1-3 エネルギー消費減単位の作成方法

| 建物用途分類(3) | エネルギー消費<br>単位計算方法 |
|-----------|-------------------|
| 住居        | ①                 |
| 医療        | ②                 |
| 業務        | ③                 |
| 商業        | ④                 |
| 宿泊        | ⑤                 |
| 娯楽        | ⑥                 |
| 文化        | ⑦                 |
| スポーツ      | ⑧                 |
| 教育        | ⑨                 |
| 住商併用      | (①+④)/2           |
| 住工併用      | ①/2               |

表 4-1-4 建物用途別エネルギー消費の内訳

| エネルギー<br>利用形態 | 建物用途分類(2) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|               | 住宅        | 医療    | 業務    | 商業    | 宿泊    | 娯楽    | 文化    | スポーツ  | 教育    |       |
| 熱[%]          | 67.72     | 71.99 | 47.82 | 33.66 | 81.17 | 50.72 | 70.42 | 50.72 | 62.55 |       |
| 内訳            | 暖房<br>[%] | 13.87 | 14.08 | 17.84 | 4.77  | 19.43 | 12.32 | 46.95 | 12.32 | 45.13 |
|               | 給湯<br>[%] | 39.16 | 36.26 | 4.64  | 6.10  | 51.04 | 18.34 | 0.00  | 18.34 | 0.00  |
|               | 冷房<br>[%] | 14.69 | 21.65 | 25.34 | 22.80 | 10.70 | 20.06 | 23.47 | 20.06 | 17.42 |
| 電力[%]         | 32.28     | 28.01 | 52.18 | 66.34 | 18.83 | 49.28 | 29.58 | 49.28 | 37.45 |       |

資料)社団法人日本地域冷暖房協会「プロジェクト 2010 日本全国地域冷暖房導入可能性調査研究平成 6 年度報告書」

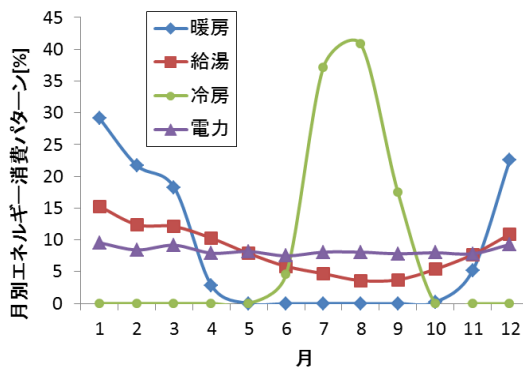


図 4-1-2 月別エネルギー消費パターン  
(住宅用途)

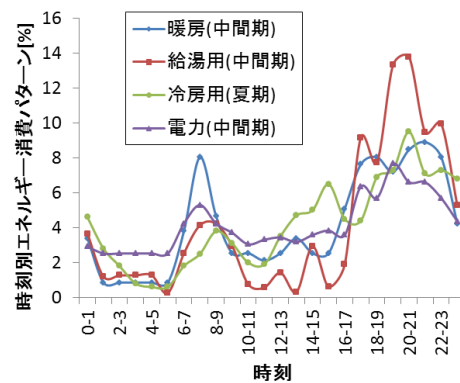


図 4-1-3 時刻別エネルギー消費パターン  
(住宅用途)

## (2) クラスター分析による地域類型化

地域エネルギー供給導入の観点から東京都区部内の地域の類型化を行うため、5つの指標を選定した。なお、ここでは500mメッシュを地域の単位とする。表4-1-5に指標の概要を示す。

表 4-1-5 クラスター分析の指標

| 指標            | 熱電比(平均値・標準偏差)  | 熱負荷密度  | 同時使用率(熱・電力)   |
|---------------|--|--|---|
| 単位            | -  | GJ/m <sup>2</sup>  | %   |
| 概要            | 熱と電力の需要量の比率とその変動の大きさ   | 単位床面積当たりの年間熱需要量  | 熱または電力需要量のピークの集中度合  |
| 地域エネルギー供給への影響 | 発電時排熱の需要量を決定し、排熱の有効利用度に影響を与える。   | 熱搬送に伴う搬送動力、熱損失量を決定する導管長さに影響を与える。                           | 設備の稼働状況を左右し、設備投資の有効活用度合いに影響を与える。  |
| 計算方法          | (熱電比平均値)<br>$= \frac{1}{12 \times 24} \sum_{month=1}^{12} \sum_{hour=1}^{24} \frac{\text{熱需要量}}{\text{電力需要量}}$ | (熱負荷密度)<br>$= \frac{\text{メッシュ内年間熱需要量}}{\text{メッシュ内総床面積}}$ | (同時使用率)<br>$= \frac{1}{12} \sum_{month=1}^{12} \frac{\text{メッシュ内ピーク需要量}}{\text{各建物のピーク需要量の合計}}$ |

熱電比は発電機の定格における排熱利用量と発電量の比に近いほど排熱を過不足なく使い切れることを意味する。また、標準偏差は熱電比と発電機の排熱利用量と発電量の比に近い条件下であれば小さいほうが望ましい。熱負荷密度は大きいほうが導管を短くすることが可能となり、導管敷設のコスト低減、搬送動力・熱損失によるエネルギー損失量の減少につながる<sup>(1)</sup>。同時使用率<sup>2</sup>は建物用途の混在度合いにより決定され、熱・電力ともに小さいほうが設備の容量を小さくできることができるため望ましい<sup>4)</sup>。これらの各指標について計算を行った結果を図4-1-4～6に示す。

熱電比の平均値・標準偏差は業務・商業用途の建物を多く含むメッシュにおいて小さく、住居系の用途の割合が増加していくほどに大きくなる傾向にある<sup>(3)</sup>。図4-1-4の熱電比の平均値、標準偏差の際立って大きいメッシュはそれぞれ宿泊、スポーツ用途の建物が多いメッシュである。

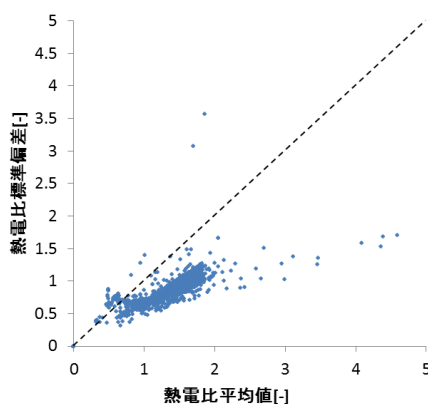


図 4-1-4 熱電比平均値・標準偏差

図 4-1-5 に示したように、全体の約 75%が熱負荷密度  $3\text{GJ}/\text{m}^2$  以下のメッシュであり、それらの多くが住居系用途建物の割合が高くなっている。このことから、他地域よりも全体として熱負荷密度の非常に大きい東京都区部においても中心は低層住宅などを多く含む地域であり、地域エネルギーの導入の観点から見ればその対象は限られていると言える。

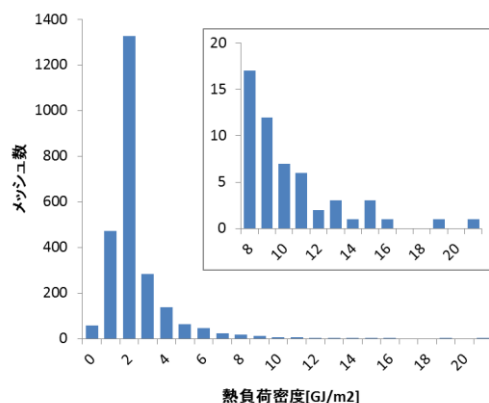


図 4-1-5 熱負荷密度

同時使用率が小さいメッシュの特徴として住居系用途の建物の比率が高いことが挙げられる。電力同時使用率は住居系用途の建物比率に大きく影響を受けている。一方、熱同時使用率は住居系用途の建物比率が同等であってもその他の用途の構成により大きく影響を受けており、その他の用途が業務・商業用途が多い場合では熱同時使用率は小さくなり、教育用途などでは大きくなる傾向にある。同時使用率は住居系用途が多く(70~80%程度)を占めるメッシュにおいて小さくなっている。この理由として、住居系用途の建物のエネルギー消費量原単位が他用途に比して小さいことが挙げられる。このため、負荷の平準化を図るためには住居系用途の建物を相当程度組み込んでいくことが重要であると考えられる。

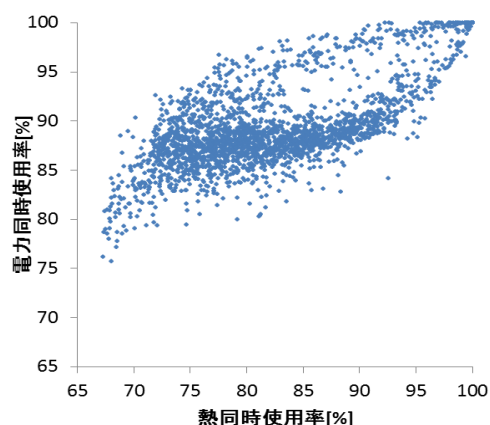


図 4-1-6 同時使用率

表 4-1-5 に示した 5 つの指標を用いてクラスター分析(ウォード法、ユークリッド距離)を行った。なお、地域エネルギー供給の導入には一定以上の熱負荷の集中が必要であると考え、都区部の 500m メッシュの中の熱負荷の大きさ<sup>(4)</sup>上位 500 位以内のメッシュを対象として分析を行った。図 4-1-7 に示す 6 つのクラスターに類型化を行った。また、図 4-1-8、表 4-1-6、表 4-1-7 に各クラスターの建物用途別の延べ床面積比率、指標の平均値、用途別の延べ床面積を床面積で除したもの(概ね建物階数に相当<sup>(5)</sup>)をそれぞれ示す。

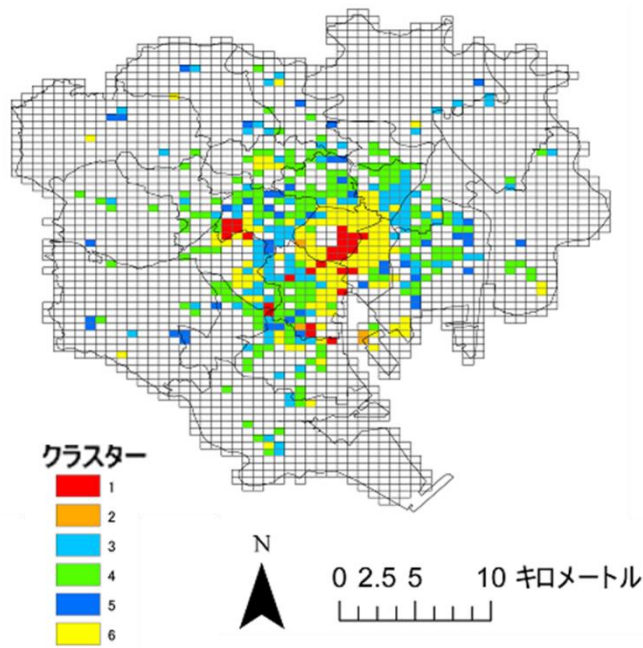


図 4-1-7 各クラスターの分布

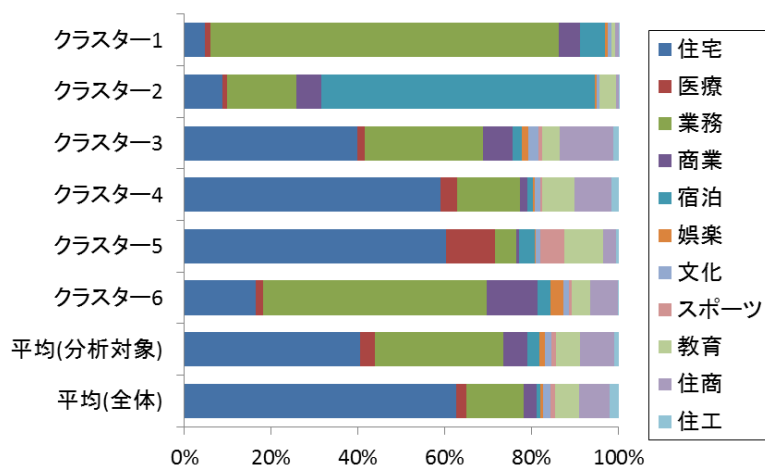


図 4-1-8 クラスター別延床面積構成



表 4-1-6 クラスタ分析結果

| クラスター    | 該当メッシュ数    | 熱電比    |         | 熱負荷密度<br>[GJ/m <sup>2</sup> ] | 同時使用率 |       |
|----------|------------|--------|---------|-------------------------------|-------|-------|
|          |            | 平均値[-] | 標準偏差[-] |                               | 熱[%]  | 電力[%] |
| 1        | 28         | 0.91   | 0.68    | 9.68                          | 94.5  | 99.1  |
| 2        | 4          | 3.25   | 1.30    | 14.20                         | 92.6  | 96.4  |
| 3        | 110        | 1.07   | 0.65    | 2.81                          | 77.3  | 93.2  |
| 4        | 183        | 1.37   | 0.81    | 2.28                          | 73.8  | 87.4  |
| 5        | 47         | 1.75   | 1.02    | 3.56                          | 84.2  | 88.2  |
| 6        | 128        | 0.88   | 0.62    | 4.86                          | 87.6  | 97.2  |
| 平均(分析対象) | 500        | 1.20   | 0.74    | 3.69                          | 80.4  | 92.0  |
| 平均(全体)   | 2410(2411) | 1.37   | 0.89    | 1.90                          | 82.4  | 89.6  |

注)全体の平均値は各指標が0となるメッシュを除外して計算を行った。

全体の平均の対象は熱電比は 2410 メッシュ、それ以外は 2411 メッシュで計算を行った。

表 4-1-7 クラスターの建物用途別建物規模

| クラスター    | (延べ床面積)/(床面積) |       |       |      |       |      |      |      |      |      |      |       |
|----------|---------------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
|          | 住宅            | 医療    | 業務    | 商業   | 宿泊    | 娯楽   | 文化   | スポーツ | 教育   | 住商   | 住工   | 平均    |
| 1        | 6.59          | 10.55 | 17.23 | 8.46 | 17.47 | 5.42 | 8.19 | 2.00 | 5.94 | 4.65 | 2.20 | 14.09 |
| 2        | 5.51          | 8.52  | 9.37  | 4.67 | 14.22 | 6.32 | 1.75 | 1.00 | 7.31 | 4.71 | 2.00 | 9.63  |
| 3        | 4.75          | 4.92  | 6.98  | 4.93 | 8.31  | 4.53 | 3.27 | 3.24 | 3.96 | 3.84 | 2.54 | 4.97  |
| 4        | 4.54          | 5.12  | 5.79  | 3.24 | 5.60  | 3.39 | 2.42 | 4.15 | 3.90 | 3.47 | 2.52 | 4.40  |
| 5        | 6.13          | 7.25  | 4.87  | 2.21 | 14.85 | 3.47 | 2.41 | 2.96 | 4.59 | 3.01 | 2.52 | 5.53  |
| 6        | 6.85          | 8.64  | 9.34  | 6.63 | 10.17 | 5.91 | 3.55 | 3.47 | 5.89 | 5.09 | 2.58 | 7.65  |
| 平均(分析対象) | 5.06          | 6.34  | 9.22  | 5.76 | 10.61 | 5.27 | 3.15 | 3.30 | 4.48 | 3.94 | 2.53 | 5.99  |
| 平均(全体)   | 3.23          | 4.36  | 7.53  | 4.14 | 9.93  | 4.58 | 2.49 | 2.83 | 3.51 | 3.14 | 2.32 | 3.72  |

6 クラスタに類型化を行った各クラスターの特徴を以下に述べる。

- クラスター1 : 業務用途を中心とした大規模建物が林立し、熱・電力共に需要量が大きく、すべての該当メッシュが既存の地域冷暖房導入地域を含むクラスター。
- クラスター2 : 大規模な宿泊施設が存在し、熱の需要量が絶対量・電力に対する比率ともに非常に大きいクラスター。
- クラスター3 : 分析対象の平均値と近いメッシュ内の建物用途構成を持ち、電力に比して熱需要の平準化が図られているクラスター。
- クラスター4 : 比較的小規模な住宅により構成されているため熱負荷密度は小さいが、最も熱・電力共に需要の平準化がなされているクラスター。
- クラスター5 : 集合住宅と医療施設が中心となっており、熱の需要量の絶対量は大きくはないが、電力の需要量も少なく熱電比が大きいクラスター。
- クラスター6 : クラスタ1の周囲に位置し商業用途建物割合が高く、熱負荷密度がクラスター1に次いで大きいため、今後地域エネルギー供給導入の可能性が高いと考えられるクラスター。

以上の6クラスターのうち次章以降のシミュレーションの対象として、地域エネルギー供給導入の可能性が高いと考えられるクラスター1、6、負荷平準化の観点から考慮する必要があると考えられる住居系用途建物を50%程度含むクラスター3を選定した。

以上より、東京都区部内のエネルギー需要特性は各建物用途の原単位では際立った特徴は見られないが、地域ごとに見てみると大きく異なっていることがわかる。そのため、地域エネルギー供給導入効果も大きく異なると考えられる。また、導入の適地と考えられる地域は既存の地域熱供給導入地域に隣接しているため、連携の可能性は大きいと言える。

#### 【補注】

- 1 本研究で用いている”熱負荷密度”とは分母が「延べ床面積の合計」と「供給対象区域の面積」であることでその大きさは異なるが、エネルギーの面的利用の導入可能性がある地域として4.2 TJ/ha(0.42 GJ/m<sup>2</sup>)以上という基準がある。
- 2 「各建物に発生する最大熱負荷の合計に対する熱源プラントからの最大熱供給割合」のことを言う。用途が多種にわたっている場合、時刻別最大負荷の発生時刻が分散し、合算の時刻最大負荷は減少する。言い換えれば、個別熱源方式による各建物の最大熱負荷の合計と比較して、その低減率が多種用途の建物に供給する地域冷暖房方式の合算メリットとなり、熱源容量を削減できる割合を示す。
- 3 住居用途100%のメッシュにおいて熱電比の平均値、標準偏差はそれぞれ1.82,1.27となる。
- 4 ここで言う熱負荷の大きさは指標で用いた熱負荷密度の大きさとは異なり、メッシュ内の年間熱負荷の大きさ意味する。
- 5 東京都の建物現況では延べ床面積の換算係数として建物の形状・階数により0.40-1.00の係数が与えられている。そのため、延べ床面積を床面積で除したものは建物階数と完全には一致しないことがある。

## 4-2 空間構造特性を考慮したエネルギー供給システムの更新シミュレーション

各地区の導入適性を精査していくには、メッシュ内の空間構造、すなわち建物の用途構成や立地の粗密を考慮した分析を行うことが重要となる。本研究では前章で分類した6タイプのうち、燃料電池式 CHP の導入適性がみられたタイプ 1・3・6 の中からそれぞれ1つずつ特定のメッシュを抽出（以下、「抽出メッシュ」）し、その内部の空間構造を考慮してエネルギー供給システムの更新シミュレーションを行う。具体的には、1・3・6 の各抽出メッシュにおいて現在採用されている「既存のエネルギー供給システム」（以下、「既存システム」）が「地域 CHP」へと更新された場合の建物運用に係るエネルギー消費削減効果、CO<sub>2</sub> 排出削減効果を概算する。事業性については本検討では未考慮とする。なお本章のシミュレーションは、次章で展開する議論の検討資料を得ることを目的として行うものでもあるため、その目的に適う範囲で適宜簡略化したモデルを設定して推計する。

### 4-2-1 シミュレーション対象メッシュの選定

#### (1) 熱輸送に伴う損失エネルギー

地域エネルギー供給では熱導管壁面からの伝導伝熱による熱量の損失や熱媒を搬送するためのポンプ動力が必要になるため、エネルギーの損失が生じる。このエネルギーの損失量は熱供給量と導管径・長さによって決定される。搬送熱量に対する導管延長が長くなるとエネルギー損失量が過大になるため、熱負荷の集中度合が大きく、熱導管密度が小さいほうが望ましい。

ここでは、主導管からの熱損失量と搬送動力のみを算出することとした。熱導管の敷設方法は文献<sup>1</sup>を参考に図 4-2-1 に示すような配管規則を考える。ここで、実際に熱導管を敷設する際には、公道下に埋設することが一般的であり、この点において本検討は現実との乖離が生じている。本章の主目的は「地域エネルギーシステムの計画的・長期的運用に土地利用変化が及ぼす影響」を明らかにするものであることから、導管敷設延長を簡略的に計算することとした。よって、ここでの検討結果において示される地域 CHP の環境負荷低減効果は、現実的な数値ではないことに留意する必要がある。

供給対象範囲にある規則性をもって仮想のノードを配置し、それらをつなぐ熱導管が存在すると仮定した。また、各ノードには供給対象範囲内の小地域内(赤い円で囲まれた範囲)の熱負荷<sup>2</sup>が集中しているものと仮定し、その需要を満たすように配管の仕様を決定、熱媒の輸送に伴うエネルギー損失量の計算を行った。

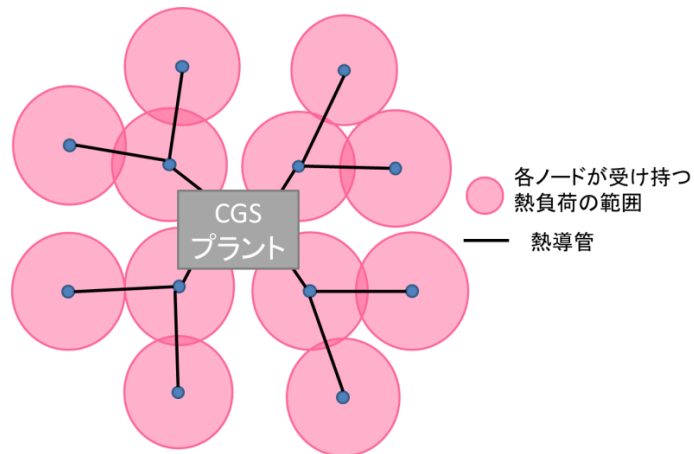


図 4-2-1 熱輸送に伴うエネルギー損失量計算イメージ

損失エネルギー量の算出のためには導管の敷設方法の規則を定める必要がある。導管の敷設方法の規則の概要を図 4-2-2 に示す。

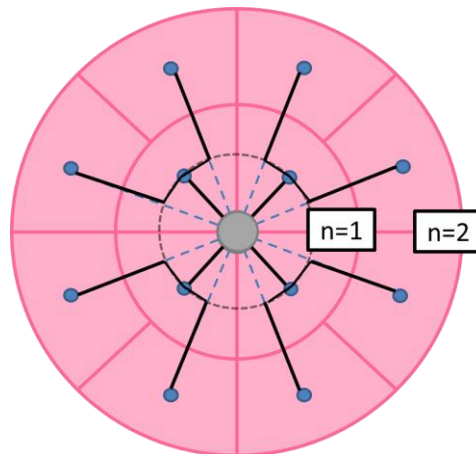


図 4-2-2 地域導管敷設規則

この規則では発電プラント設置位置から同心円状に円形またはリング状のエリアを設定し、プラントに近い側から  $n=1, 2, \dots$  と名付けることとした。各エリアには  $M_n=2^{(n+1)}$  個のノードを設置する。また、各ノードから次のエリアに属するノードに対して出る配管の本数を  $N_n=2$ 、 $n$  番目のエリアのプラント設置位置から外縁までの距離を  $R_n$ 、ノードまでの距離を  $r_n$  とすると、 $n$  番目のエリアまでの導管の総延長距離  $L_n$  は

$$L_n = L_{n-1} + M_{n-1} [1 + (1-k)M_n R_{n-1} + kM_n R_{n-1} - M_n r_{n-1}]$$

と表すことができる。ただし、

$$l_n = 2r_{n-1}$$

$$\gamma_n = \frac{\theta_n}{2}$$

とする。また、 $n$  番目のエリアまでの供給対象範囲の面積  $S_n$  は

$$S_n = \pi R_n^2$$

となるため、配管密度  $\rho E$  は

$$\rho = \frac{L_n}{S_n}$$

と表される。以上から  $L_n$  の式は

$$\rho \pi R_n^2 - M_n k R_n - L_{n-1} - M_{n-1} l_n - M_n (1-k) R_{n-1} + M_n r_{n-1} = 0$$

となり、 $\rho$  を定数として与えることにより  $R_n$  の二次方程式となる。配管密度の大きさは文献<sup>34</sup>よりクラスター1では 100m/ha、クラスター6では 200m/ha、クラスター3では 400m/ha とそれぞれ設定した。各配管密度を与えた場合の  $R_n$ 、 $r_n$ 、 $S_n$  の値を  $n=1-5$  の値を表 4-2-1 に示す。

表 4-2-1 クラスターの建物用途別建物規模

| n | 配管密度[m/ha] |           |            |           |           |            |           |           |            |
|---|------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
|   | 100        |           |            | 200       |           |            | 400       |           |            |
|   | $R_n$ [m]  | $r_n$ [m] | $S_n$ [ha] | $R_n$ [m] | $r_n$ [m] | $S_n$ [ha] | $R_n$ [m] | $r_n$ [m] | $S_n$ [ha] |
| 1 | 63.7       | 31.8      | 1.3        | 31.8      | 15.9      | 0.3        | 15.9      | 8.0       | 0.1        |
| 2 | 169.8      | 116.7     | 9.1        | 84.9      | 58.4      | 2.3        | 42.5      | 29.2      | 0.6        |
| 3 | 328.6      | 249.2     | 33.9       | 164.3     | 124.6     | 8.5        | 82.1      | 62.3      | 2.1        |
| 4 | 588.1      | 458.3     | 108.7      | 294.1     | 229.2     | 27.2       | 147.0     | 114.6     | 6.8        |
| 5 | 1071.8     | 830.0     | 360.9      | 535.9     | 415.0     | 90.2       | 268.0     | 207.5     | 22.6       |

クラスター1、6、3の中から代表メッシュを選定し、そのメッシュに対して上記の規則に従って配管の敷設のシミュレーションを行った。代表メッシュは当該メッシュを中心とした周囲

8メッシュを含む全9メッシュのうち、2/3以上(6メッシュ以上)が当該メッシュの属するクラスターと同じクラスターに属するメッシュを基準として選定した。また、選定した代表メッシュ内の年間熱負荷が最大の建物をプラント設置場所とした。図4-2-3に各クラスターの代表メッシュの概況と供給対象範囲、ノード・プラントの位置を示す。

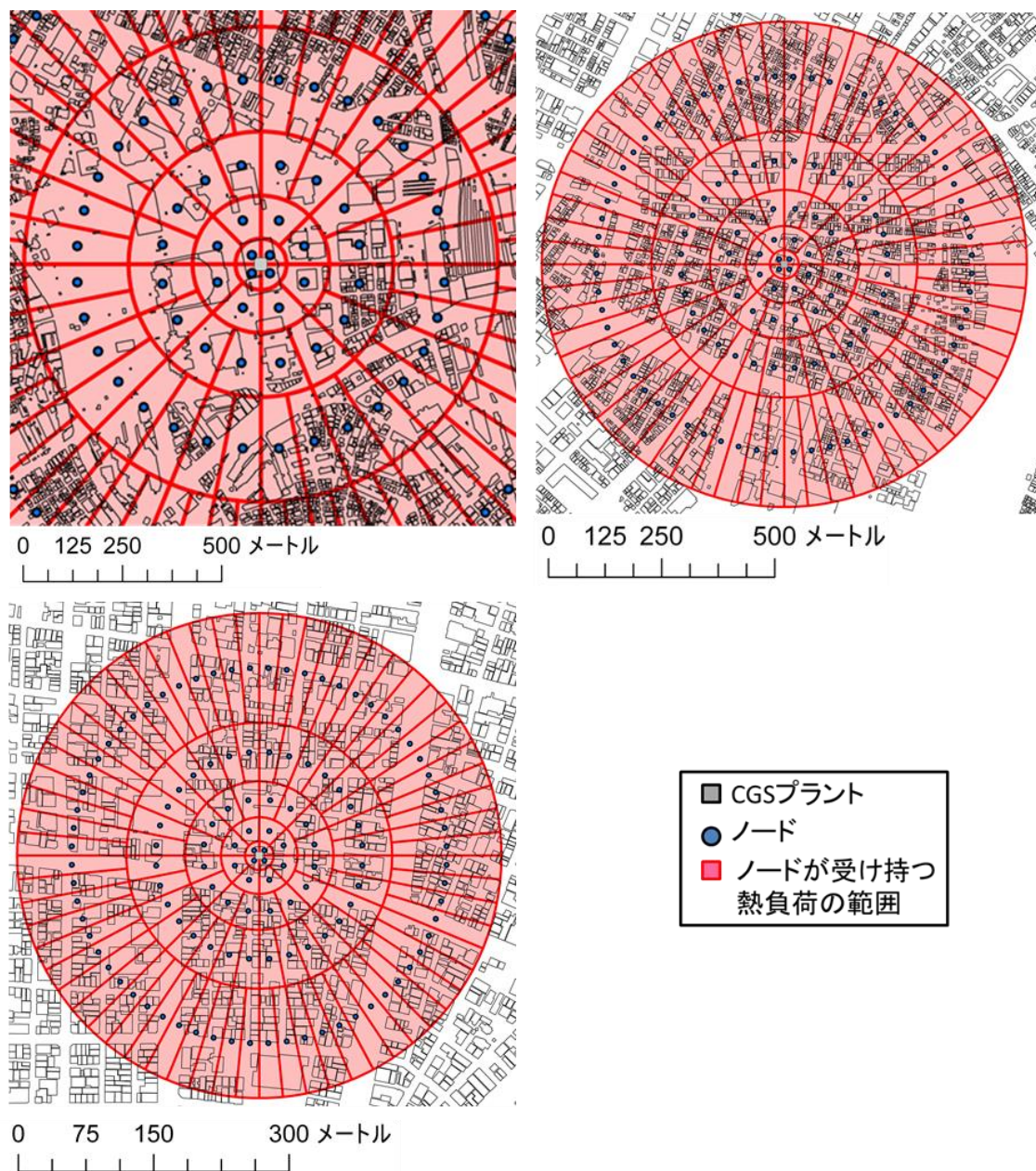


図4-2-3 シミュレーション対象地域の概況

図4-2-3の各供給対象範囲に対して熱供給管の仕様を決定し、熱媒の搬送動力と搬送に伴う

熱損失量を算出する。

熱の搬送動力と損失量を算出するためにはまず、管径を決定することが必要である。管径は各配管を流れる温熱、冷熱の量を元に、熱供給条件と管内流速を決定することで求めることができる。熱の供給条件を次のように設定した。

温熱の供給媒体は蒸気を用い、往きは 0.9MPa の飽和蒸気、還りは 85°C の温水とする。冷熱の供給媒体である冷水の往きの温度は 6°C、還りの温度は 12°C とするため、温度差は  $\Delta t=6^{\circ}\text{C}$  とする。この熱供給条件から蒸気供給量  $F_s[\text{m}^3/\text{s}]$  と冷水供給量  $F_c[\text{m}^3/\text{s}]$  は温熱需要  $H_h[\text{MJ}/\text{h}]$ 、冷熱需要  $H_c[\text{MJ}/\text{h}]$  からそれぞれ以下の式によって計算することができる。

$$F_s = H_h \times \frac{1000}{3600 \rho_s H_s}$$

$$F_c = H_c \times \frac{1000}{3600 \rho_c C \Delta t}$$

また、蒸気還水の流量  $F_h[\text{m}^3/\text{s}]$  は蒸気供給量から

$$F_h = F_s \frac{\rho_s}{\rho_h}$$

と計算することにより求めた。なお、式中の記号の意味とその数値を表 4-2-2 に示す。計算を行った各熱媒体の供給量の年間最大値を流速で除することにより配管径を決定する。なお、流速は蒸気では 60m/s、冷水、蒸気還水では 3.0m/s と設定した<sup>56</sup>。決定した管径を用いて以降の搬送動力と熱損失の計算を行うこととした。

表 4-2-2 水の物性

| 記号       | 意味    | 数値      | 単位                | 備考             |
|----------|-------|---------|-------------------|----------------|
| $\rho_s$ | 蒸気の密度 | 4.344   | kg/m <sup>3</sup> | 理想気体の状態方程式より   |
| $H_s$    | 潜熱+顕熱 | 2413.02 | kJ/kg             |                |
| $\rho_c$ | 冷水の密度 | 999.70  | kg/m <sup>3</sup> | 10°Cの値を利用      |
| $C$      | 水の比熱  | 4.20    | kJ/kgK            |                |
| $\rho_h$ | 温水の密度 | 968.58  | kg/m <sup>3</sup> | 85°Cの値を内挿により算出 |

資料) 柘植秀樹ら「応用化学シリーズ4化学工学の基礎」

## ① 熱搬送動力の算出

熱の搬送動力は、供給先との高低差が十分に小さければ配管内壁と流体の摩擦や配管部材の抵抗によって生じる圧力損失と供給先へ必要な水圧の和に相当する水頭のみで供給流量を持



ち上げるのに必要なポンプの動力を意味する。ポンプ揚程を  $H[\text{m}]$  とすると Darcy-Weisebach の式より

$$H = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{2g}$$

ここで、 $\lambda [-]$  は管摩擦係数、 $L[\text{m}]$  は相当管長、 $D[\text{m}]$  は管内径、 $v[\text{m/s}]$  は流速、 $g$  は重力加速度  $[\text{m/s}^2]$  を意味する。なお、相当管長は実管長の 1.5 倍として設定した<sup>7</sup>。 $\lambda$  は層流域、乱流域ともにいくつかの式が提案されている。ここでは、管内ながれを乱流と仮定して、一般的に用いられている Moody 線図の近似式を用いることとした。以下に近似式を示した。

$$\lambda = 0.0055 \left\{ 1 + \left( \frac{20000k}{D} + \frac{10^6}{\text{Re}} \right)^{1/3} \right\}$$

管内面の粗さ  $k[\text{mm}]$  は市販鋼管の値として  $0.045 \text{ mm}$ <sup>10)</sup> を用いた。また、レイノルズ数は

$$\text{Re} = \frac{\rho Dv}{\mu}$$

によって求まるが、ここでの  $\rho$  は表 2-3-1 の値を用い、粘度  $\mu [\text{Pa} \cdot \text{s}]$  は文献<sup>812)</sup> の値から内挿して算出した。ちなみに、冷水 ( $10^\circ\text{C}, 0.1\text{MPa}$ ) では  $1443 \mu\text{Pa} \cdot \text{s}$ 、温水 ( $85^\circ\text{C}, 1\text{MPa}$ ) では  $351 \mu\text{Pa} \cdot \text{s}$  となった。このように求めたポンプ揚程から熱媒流量  $F[\text{m}^3/\text{s}]$ 、ポンプ効率  $\eta [-]$  をもちいてポンプ動力  $L_e[\text{kW}]$  は

$$L_e = \frac{\rho gQH}{1000\eta}$$

と求めることができる。

## ② 配管部熱損失量の計算

地中埋設配管の単位長さあたりの熱損失量  $Q[\text{W/m}]$  は以下の式によって算出することができる。

$$Q = \frac{t_s - t_0}{R}$$

ここで、 $t_s, t_0$  はそれぞれ熱媒体と地表面の温度  $[\text{C}]$ 、 $R$  は管と地表面の間の熱抵抗  $[\text{mK/W}]$  を意味する。また、 $R$  は



$$R = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{\xi_1 - \xi_2}{\lambda_1} + \frac{\xi_2 - \xi_3}{\lambda_2} + \frac{\xi_3 - \xi_4}{\lambda_3} + \frac{\xi_4 - \xi_5}{\lambda_4} + \frac{\xi_5 - \xi_6}{\lambda_5} + \frac{\xi_6}{\lambda_6} \right)$$

$$\xi_i = \ln \left[ \frac{h}{r_i} \left\{ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{r_i}{h} \right)^2} \right\} \right]$$

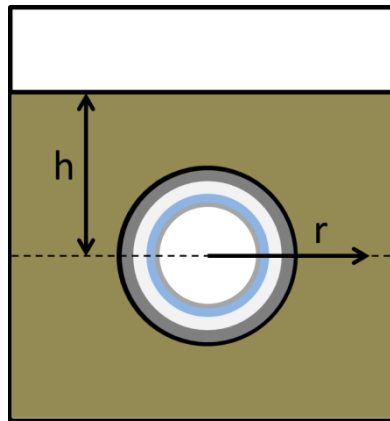


図 4-2-5 熱導管のイメージ

$\lambda$  は管を構成する部材と土壌の熱伝導度[W/mK]、 $r$  は管の各層の内径または外径[m]、 $h$  は管中心から地表面までの距離[m]を意味し、2m と設定した(図 2-3-5)。管の構成は管内壁側からサーベिस管(圧力配管用炭素鋼管:STPG)、保温材(熱媒体により異なる)、空気層、ケーシング材(STPG)、外装材(アスファルト)となっている(かっこ内は素材名)。保温材として蒸気配管ではケイ酸カルシウム、蒸気還水ではグラスウール、冷水では硬質ウレタンフォームを使用する<sup>9</sup>。また、土壌はロームであると仮定した。配管構成部材と土壌の熱伝導度<sup>10</sup>を表 4-2-3、月ごとの地表面温度を表 4-2-4 にそれぞれ示す。また、各部材の厚さは文献<sup>11</sup>を参考にして管の内径に応じて設定した。

表 4-2-3 熱導管構成材料の熱伝達率

| 素材名        | 熱伝導率[W/mK] | 備考             |
|------------|------------|----------------|
| 炭素鋼        | 53         | 0.5C以下         |
| ケイ酸カルシウム   | 0.063      | 蒸気配管用(175°Cの値) |
| グラスウール     | 0.045      | 蒸気還水用(85°Cの値)  |
| 硬質ウレタンフォーム | 0.028      | 冷水用(10°Cの値)    |
| 空気         | 0.024      |                |
| アスファルト     | 0.111      |                |
| ローム土       | 1.05       |                |

資料)千葉孝男「蒸気・高温水システム」、  
熱物性ハンドブック編集委員会「熱物性ハンドブック」より作成

表 4-2-4 地表面温度

| 月  | 地表面温度[°C] |
|----|-----------|
| 1  | 2.6       |
| 2  | 3.9       |
| 3  | 8.0       |
| 4  | 13.7      |
| 5  | 19.0      |
| 6  | 22.8      |
| 7  | 27.2      |
| 8  | 28.8      |
| 9  | 23.9      |
| 10 | 17.1      |
| 11 | 10.7      |
| 12 | 4.9       |

資料)日本建築学会「第2版建築学便覧 I 計画」

以上の計算により得られた熱搬送に伴う熱損失量と搬送動力の熱供給量に対する割合を夏期(8月)、冬期(2月)、中間期(5月、11月)ごと<sup>(12)</sup>に図 4-2-6 に、表 4-2-5,6 に年間の値をそれぞれ示す。熱損失量・搬送動力共に共通して言えることとして、供給対象範囲の拡大、配管密度が大きくなるほどに損失量の占める割合が大きくなっている。クラスター1では配管密度の小ささに加え、熱需要量が他と比較して非常に大きいために損失量の割合は非常に小さくなっている。一方でクラスター3では需要量の10%弱が損失してしまうように影響が大きくなっている。

熱損失量は熱媒と地表面の温度差に依存するため、温熱では冬期、冷熱では夏期に多くなる。季節による損失量の大きさの変動は温度差が小さい冷熱のほうが大きくなるが、損失量自体は温熱よりも小さい。温熱については季節による地表面温度差が約 25°C に対して熱媒との温度差が 150°C 以上あるため、その影響は小さい。図 2-3-6 では熱需要量に対する熱損失量の割合を示しており、温熱は冬期に需要量が多いため割合としてはすべてのクラスターについて非常に小さくなっている。このことについては冷熱について逆のことが言える。搬送動力の大きさは搬送量の大きさに依存するため、温熱では冬期、冷熱では夏期に多くなる。また、季節別の変動は熱損失量よりも大きくなっていることがわかる。通常、理論式によって得られた搬送動力は実際よりも小さくなると言われており、実際の運転データ等を用いた検討も必要となると考えられるが、本研究ではこの計算で得られた搬送動力を用いることとする。

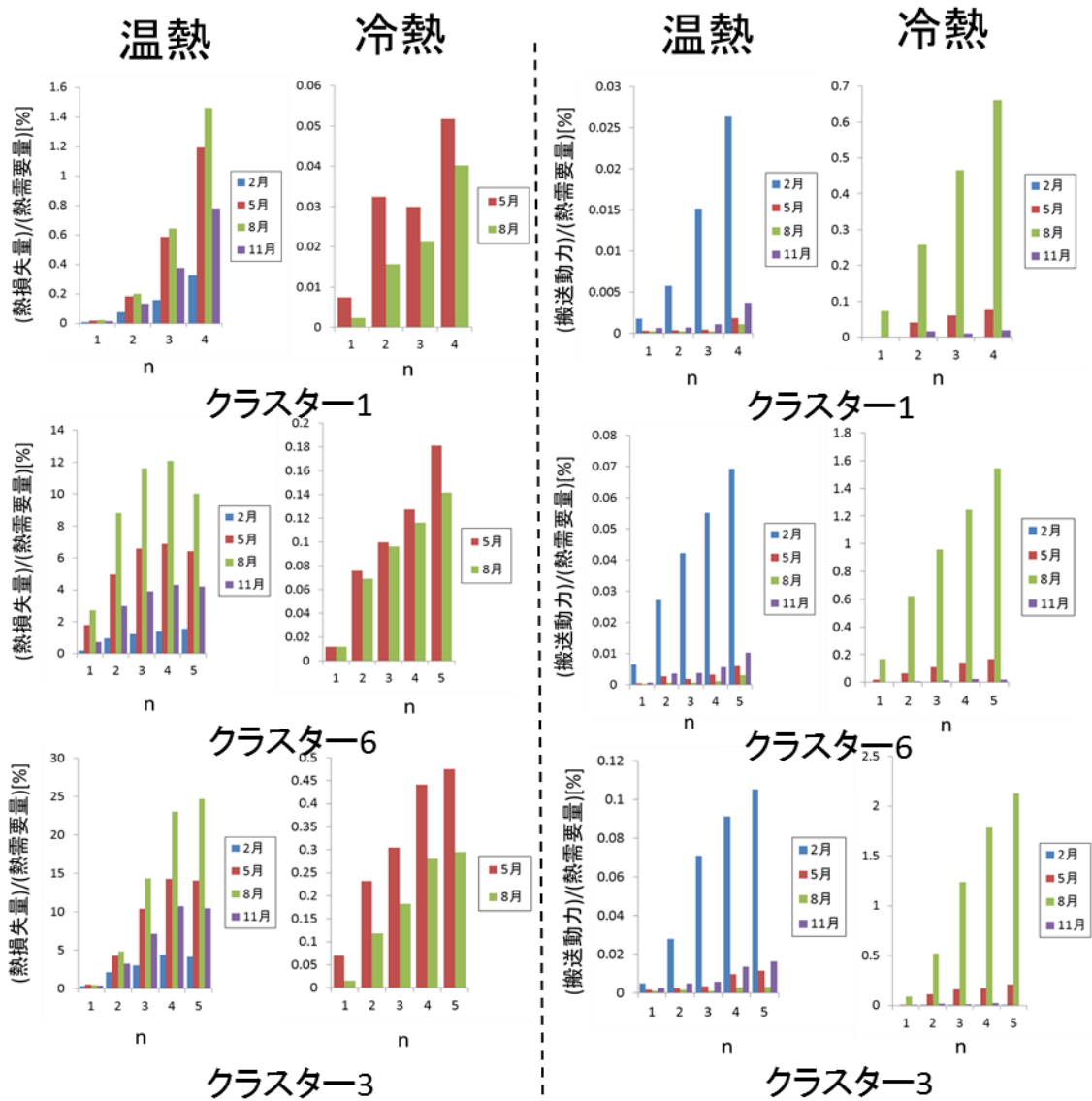


図 4-2-6 熱搬送に伴うエネルギー損失量(左:熱損失、右:搬送動力)

図 4-2-5 年間熱損失量(左:温熱、右:冷熱)

| n | 熱損失量/熱需要量[%] |       |       | n | 熱損失量/熱需要量[%] |       |       |
|---|--------------|-------|-------|---|--------------|-------|-------|
|   | クラスター        |       |       |   | クラスター        |       |       |
|   | 1            | 6     | 3     |   | 1            | 6     | 3     |
| 1 | 0.013        | 0.468 | 0.400 | 1 | 0.003        | 0.011 | 0.016 |
| 2 | 0.121        | 2.135 | 3.235 | 2 | 0.017        | 0.065 | 0.120 |
| 3 | 0.305        | 2.808 | 5.883 | 3 | 0.020        | 0.088 | 0.189 |
| 4 | 0.640        | 3.106 | 8.519 | 4 | 0.037        | 0.109 | 0.292 |
| 5 |              | 3.237 | 8.173 | 5 |              | 0.137 | 0.311 |

表 4-2-6 年間搬送動力(左:温熱、右:冷熱)

| n | 搬送動力/熱需要量[%] |       |       | n | 搬送動力/熱需要量[%] |       |       |
|---|--------------|-------|-------|---|--------------|-------|-------|
|   | クラスター        |       |       |   | クラスター        |       |       |
|   | 1            | 6     | 3     |   | 1            | 6     | 3     |
| 1 | 0.001        | 0.004 | 0.003 | 1 | 0.046        | 0.104 | 0.061 |
| 2 | 0.003        | 0.017 | 0.013 | 2 | 0.184        | 0.394 | 0.378 |
| 3 | 0.007        | 0.024 | 0.036 | 3 | 0.305        | 0.619 | 0.795 |
| 4 | 0.014        | 0.032 | 0.052 | 4 | 0.421        | 0.808 | 1.135 |
| 5 |              | 0.039 | 0.062 | 5 |              | 0.998 | 1.377 |

#### 4-2-2 地域エネルギー供給による省エネルギー性・低炭素化への影響の評価

熱供給に伴うエネルギー損失量を考慮して地域エネルギー供給による省エネルギー性・低炭素化への影響の評価を行う。CGSによる地域エネルギー供給の熱源機器構成を図4-2-7に示した。発電機の排熱を排熱ボイラによって蒸気の形態で回収し、冷熱は蒸気二重効用吸収式冷凍機を用いた冷水、温熱は蒸気により需要家へと供給を行う。なお、CGSの運転形態を「電主熱従運転」<sup>(13)</sup>とするため、不足分の熱は都市ガスを炉筒煙管蒸気ボイラで燃焼させることにより賄うこととする。評価を行う際の対照システムとして、すでに地域冷暖房が敷設されている地域を多く含むクラスター1では系統電力+地域冷暖房、クラスター6、3では系統電力+個別冷暖房・給湯とした。また、これらのシステムにおける熱源設備の効率を表4-2-7に示す。

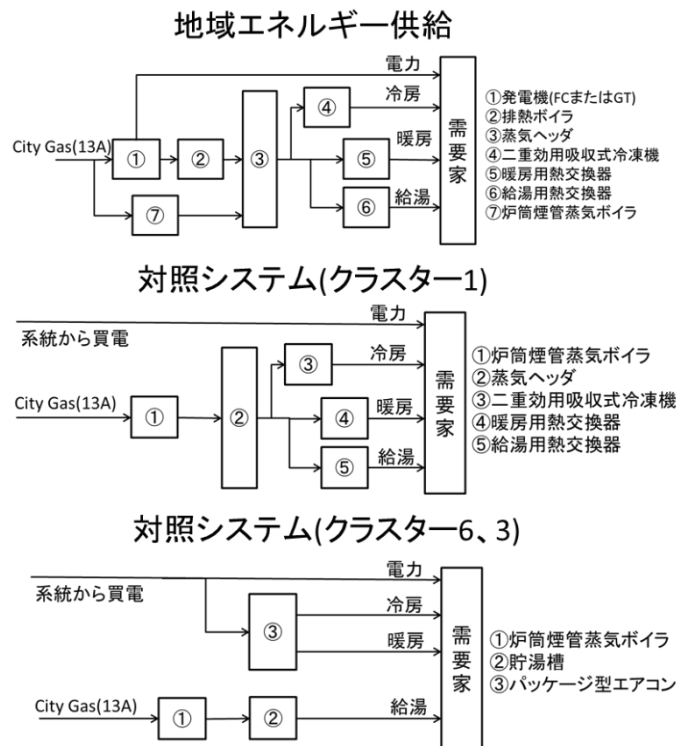


図 4-2-7 エネルギー供給設備

表 4-2-7 エネルギー供給設備の効率

| エネルギー供給設備   | 単位      | 効率   | 備考                    |
|-------------|---------|------|-----------------------|
| 蒸気二重効用吸収冷凍機 | kg/h・RT | 4.3  |                       |
| 給湯・暖房用熱交換器  | -(COP)  | 1.0  | 地域エネルギー供給・比較対象システムで共通 |
| 炉筒煙管蒸気ボイラ   | -(COP)  | 0.88 | 同上                    |
| PACエアコン(冷房) | -(COP)  | 2.58 | 比較対象システムで使用           |
| PACエアコン(暖房) | -(COP)  | 3.13 | 同上                    |

資料)元アンナ「首都圏大都市域のサステナビリティ実現に向けた地域エネルギーシステムの構築に関する研究」、  
下田吉之ら「地区を基本単位とした都市エネルギー需要のモデル化と将来シナリオに関する研究」、  
(社)日本エネルギー学会「天然ガススコージェネレーション計画・設計マニュアル2008」

以上で述べたシステム構成条件において表 4-2-8,9 の係数を用いてエネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量の計算を行った。なお、熱損失量に相当する分の供給量を上乘せして熱の供給を行い、熱媒搬送に必要な動力は系統電力から供給を受けることと仮定した。図 4-2-8～13 に「対照システムに対する地域エネルギー供給導入によるエネルギー消費量削減率、CO<sub>2</sub>排出量削減率」、「有効排熱利用率、熱自給率」、「用途別建物延べ床面積比率の変化」、「年間熱 - 電力需要量比率」をクラスターごとに示す。なお、ここで示した有効排熱利用率、熱自給率は以下の式により定義した。

$$(\text{有効排熱利用率}) = \text{需要家が消費した熱量} / \text{発電時排熱の総量} * 100$$

表 4-2-8 電力の単位発熱量

| エネルギーの種類 | 単位発熱量 | 単位     | 備考      |
|----------|-------|--------|---------|
| 昼間電力     | 9970  | kJ/kWh | 8時から22時 |
| 夜間電力     | 9280  | kJ/kWh | 22時から8時 |

資料)田中俊六「温対法と省エネ法の原単位問題-「全電源平均」と「火力平均」-

表 4-2-9 CO<sub>2</sub> 排出係数

| エネルギーの種類 | CO <sub>2</sub> 排出係数 | 単位                      |
|----------|----------------------|-------------------------|
| 火力平均(全日) | 0.69                 | kg-CO <sub>2</sub> /kWh |
| 都市ガス13A  | 0.0511               | kg-CO <sub>2</sub> /MJ  |

資料)田中俊六「温対法と省エネ法の原単位問題-「全電源平均」と「火力平均」-

クラスター1では削減率が供給対象範囲の拡大によって上昇していることがわかる。しかし、n=3以降はその上昇は頭打ちになっている。クラスター1のプラント設置場所は電力需要量に対する熱需要量が非常に大きい宿泊用途施設であるため、供給対象範囲が小さい(n=1,2)段階ではその影響が大きく、熱が大幅に不足しておりボイラでの都市ガスの消費量が多くなってしまっている。供給対象範囲が大きくなる(n=3,4)と発電時排熱を捨ててしまう時間帯もわずかながら見られるが、ボイラでの都市ガスの消費量削減の効果による大きな効果がある。n=3以降は供給対象範囲の拡大による用途別建物延べ床面積比率の変化はほとんど見られず、これ以上の供給対象範囲の拡大はデメリットのほうが大きくなると考えられる。ちなみに、n=3の供給対象範囲の面積は33.9haであり、クラスター1の代表メッシュとして選定した西新宿地域にある既存の地域冷暖房の供給対象区域の面積が約24.3haとなっている。

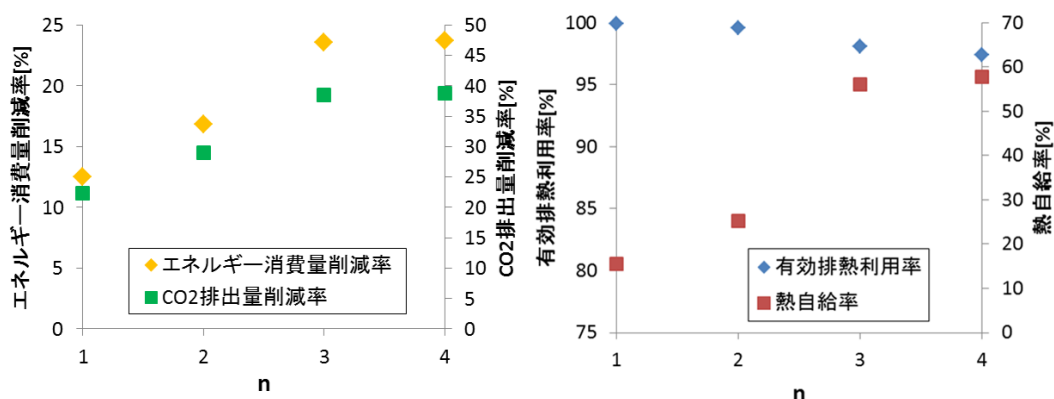


図 4-2-8 シミュレーション結果(クラスター1)

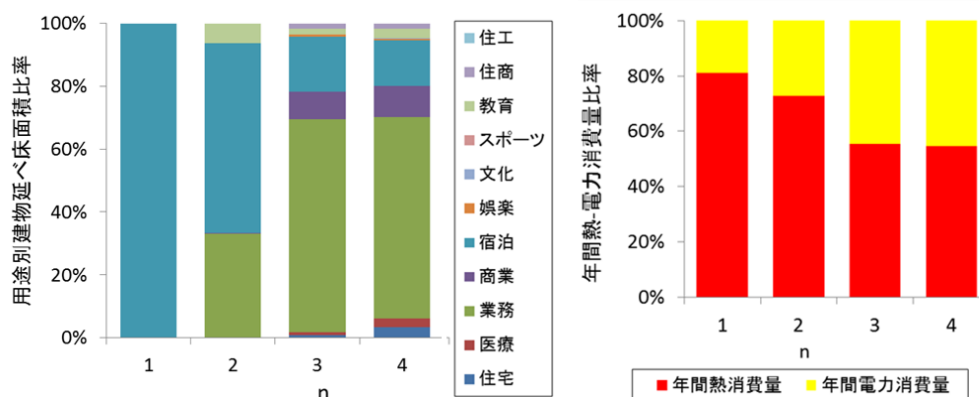


図 4-2-9 供給対象範囲の建物構成(クラスター1)

クラスター6では供給対象範囲に関わらず削減率がほぼ一定となっている。この理由としてプラント設置建物が業務用途であることと n=2 以降で用途別建物延べ床面積比率が一定であることが挙げられる。n=1 から n=2 への変化においては有効排熱利用率に大きな変化が見られるが、熱自給率に関してはすべての供給対象範囲に対してほぼ一定である。クラスター6では他のクラスターと比較し小規模な範囲で建物用途の混在が生じていると考えられ、地域エネルギー供給のメリットを小さい供給規模でも得ることができるといえる。このような地域では燃料電池の長所でもあり短所でもあるスケールメリットが少ないという特徴を活かすことができると考えられる。

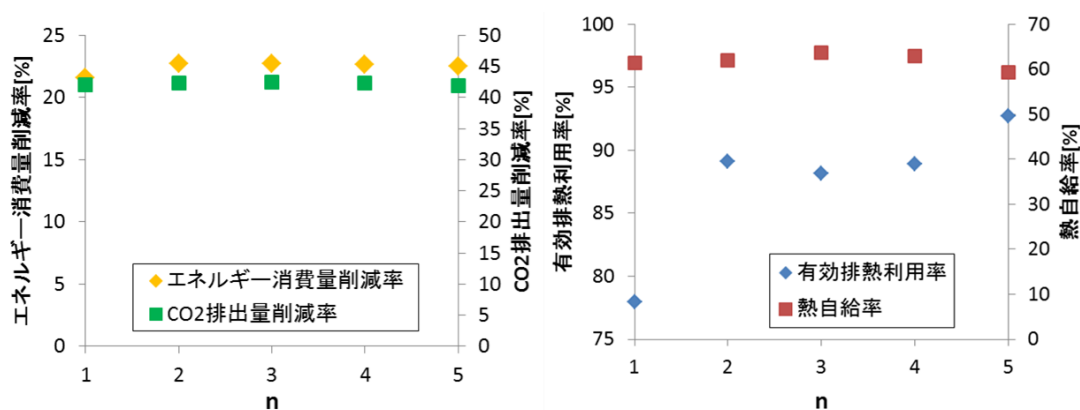


図 4-2-10 シミュレーション結果(クラスター6)

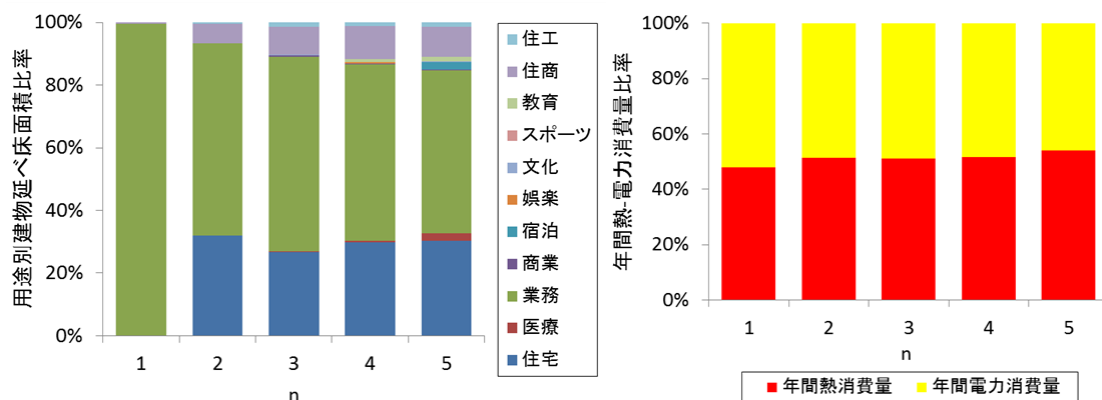


図 4-2-11 供給対象範囲の建物構成(クラスター6)

クラスター3ではn=3までは供給対象範囲の拡大と共に削減率が上昇しているが、それ以降ではほぼ一定になっている。クラスター3はクラスター1、6とは異なり供給対象範囲の拡大により刻々と用途別建物延べ床面積比率は変化している。しかしながら、熱自給率はn=3以降にあまり変化が見られず、有効排熱利用率は導管からの熱損失の影響により低下が見られる。

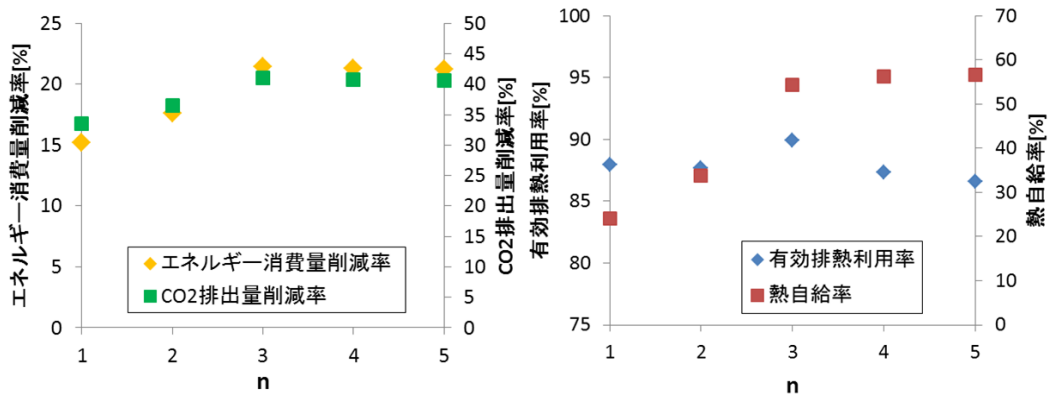


図 4-2-12 シミュレーション結果(クラスター3)

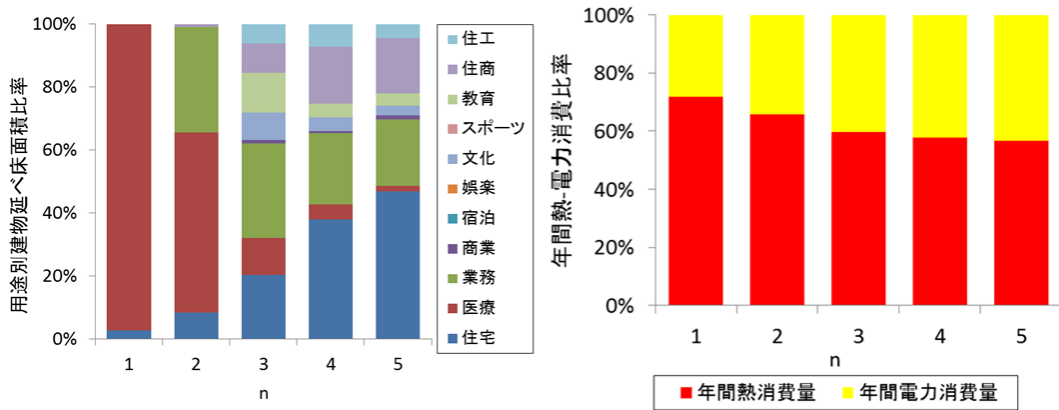


図 4-2-13 供給対象範囲の建物構成(クラスター3)



省エネ性・低炭素化へ与える影響に加えて、負荷の平準化が設備の有効活用に与える影響を評価するための指標として全負荷相当運転時間<sup>9)</sup>を求めた。この結果を図 4-2-14 に示す。また、全負荷相当運転時間の算出方法を下式に示す。

$$\text{全負荷相当運転時間} = \text{年間総電力消費量} / \text{年間最大電力消費量} \quad (1 \text{ 時間あたり})$$

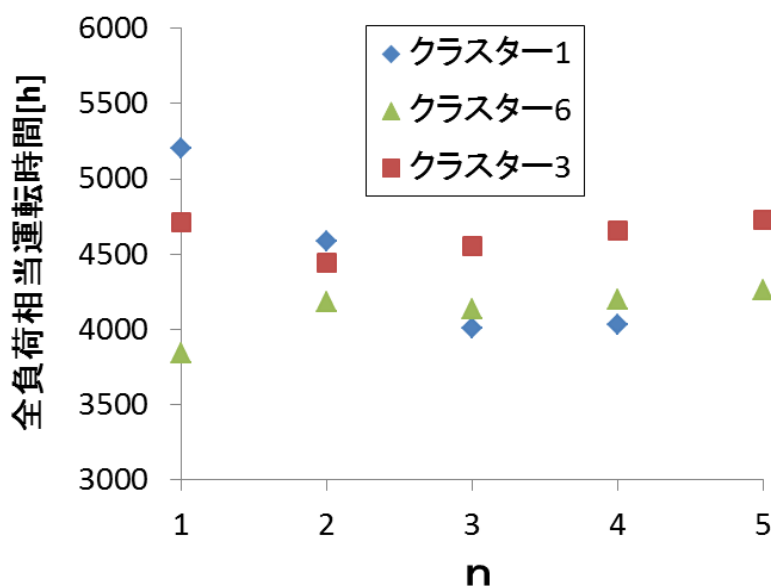


図 4-2-14 全負荷相当運転時間

クラスター1ではプラント設置建物である宿泊施設が負荷の平準度が高い建物であるため、供給対象範囲の拡大により全負荷相当運転時間は減少している。クラスター6ではn=1からn=2への変化により増加が見られ、その後はほぼ一定で推移していることから、設備有効利用の観点から見ても比較的小規模な供給対象範囲で有益な効果が得られることがわかる。クラスター3は3クラスターのなかで同時使用率が最も小さいクラスターであるため、負荷平準度合が最も大きくすべての供給対象範囲において全負荷相当運転時間が長くなっている。

以上より、燃料電池による地域 CHP を用いることによって熱を無駄にする時間帯が少なくなることによって大きな環境性の向上が見られることが明らかとなった。また、用途の混在が小規模な範囲で行われることによって小規模な範囲で効率的な運転が可能となり、燃料電池のメリットを活かした形での地域エネルギー供給が可能になると考えられる。

- 
- 1 田頭直人(2001)「コージェネレーションを用いた地域冷房のエネルギー削減効果と導入地域の空間構造に関する研究 -コスト当たりの効果まで考慮して-」,日本都市計画学会学術研究論文集
  - 2 建物が小地域の境界をまたぐ場合は当該建物の重心がある小地域に属するものとした。
  - 3 尾島俊雄,佐土原聡(1986) 都市における高級処理管路網の設置に関する研究-供給処理業者の側面からの考察- 日本建築学会計画系論文報告書第 360 号,49-56 項
  - 4 田頭直人(2010) コージェネレーションを用いた地域冷暖房のエネルギー削減効果と導入地域の空間構造に関する研究-コストあたりの効果まで考慮して- 第 36 回日本都市計画学会学術研究論文集
  - 5 地域冷暖房技術手引書作成小委員会(2002) 地域冷暖房技術手引書(改訂新版) 社団法人日本地域冷暖房協会
  - 6 千葉孝男(2009) 改訂蒸気・高温水システム - 配管系の設計から施工まで - 省エネルギーセンター
  - 7 吉田聡,佐土原聡(2000) 日本における熱併給発電所(CHP)を組込んだ広域熱供給システムのエネルギー評価に関する研究 日本建築学会計画系論文集,pp.85-92
  - 8 化学工学協会(1998) 改訂第 5 版化学工学便覧 丸善
  - 9 辻賢司(2010) 固体酸化物形燃料電池(SOFC)の開発と展望(普及版) シーエムシー出版
  - 10 熱物性ハンドブック編集委員会(1990) 熱物性ハンドブック 養賢堂
  - 11 元アンナ(2006) 首都圏大都市域のサステナビリティ実現に向けた地域エネルギーシステムの構築に関する研究 横浜国立大学博士論文
  - 12 冷熱供給による熱損失量は地表面温度が冷水の供給温度(6°C)よりも低くなる期間においては 0 とした。
  - 13 電力需要に合わせて発電を行い、排熱が余った場合は蓄熱または大気中に放熱し、不足した場合には外部から熱を補う運転方式

### 4-3 エネルギー供給システム更新期待地区の将来的適合性

これまで行ってきたシミュレーションは、最も新しい土地利用構成、建物構成の市街地に対して、最適なエネルギーシステムを提案したものである。エネルギーシステムは都市を支えるインフラであるが、CO<sub>2</sub>排出量削減にプライオリティを与えた都市づくりを考えれば、建物構成とエネルギーシステムのバランスが求められる。日本は建て替えに伴う土地利用変化が欧米に比較して早いため<sup>1</sup>、市街地の土地利用構成、建物構成の変化を見ることとする。ここでは2001年と2006年の2時点のGISデータを用いて建物用途別延床面積構成比の変化をみることで、地区レベルでの建物用途構成がどのように変動しているのかを明らかにする。

#### (1) 地区レベルの土地利用変化の状況

メッシュごとの用途別建物延床面積の変化率を用いてクラスター分析（ウォード法、平方ユークリッド距離）を行った。クラスター分析の結果を表4-3-1、各クラスターのメッシュ分布を図4-3-1に示す。これより、相対的に大きな土地利用変化の生じている分類A・Bと、ほぼ無変化の分類C～Lの2つに大別することが出来る。このうち分類A・Bに属するメッシュが全体の9割以上を占める状況となっていることから、都区部ではほぼ全ての地区が用途転換と延床面積での変化が見られ、エネルギー需要が時間の経過に従い大きく変化するものと考えられる。分類A・Bはそれぞれ変化の割合が高いものの、変化の方向性に違いが見られた。それは、分類Aでは業務・商業系用途が減少傾向、集合住宅が増加傾向を示しているのに対して、分類Bでは逆に業務・商業系用途の建物が増加傾向にあり、戸建住宅が減少傾向にある。これは双方のメッシュ間で一定の方向性をもった用途転換が進んでいると考えられる。すなわち、変化の起点における地区の用途構成が「混在型」であれば「純化型」へ、逆に「純化型」であったならば「混在型」への移行が生じている可能性を表している。これより、地域に最適なエネルギーシステムの長期に渡る運用は、エネルギーマネジメントでの対応、またはCO<sub>2</sub>排出量削減を目的とした開発誘導で対応することが考えられる。

表 4-3-1 クラスター分析

| 分類 | 該当数  | 官<br>公<br>庁 | 文<br>教<br>化<br>育 | 医<br>厚<br>療<br>生 | 処<br>供<br>理<br>給 | 事<br>務<br>所 | 商<br>専<br>業<br>用 | 併<br>住<br>用<br>商 |
|----|------|-------------|------------------|------------------|------------------|-------------|------------------|------------------|
| A  | 1560 | 1.0         | ▲ 3.8            | ▲ 2.1            | ▲ 2.3            | ▲ 1.3       | ▲ 1.2            | ▲ 3.2            |
| B  | 707  | ▲ 0.4       | 3.6              | 1.0              | 4.2              | 11.2        | ▲ 3.0            | 7.4              |
| C  | 130  | 0.0         | 0.3              | ▲ 0.2            | ▲ 0.1            | 0.6         | 0.2              | 1.1              |
| D  | 31   | ▲ 0.1       | 0.4              | ▲ 3.3            | 0.0              | 0.2         | 0.4              | 0.0              |
| G  | 4    | 0.0         | 0.2              | 0.2              | 0.1              | 0.0         | 0.0              | 0.0              |
| H  | 3    | 0.0         | 0.0              | 0.0              | ▲ 1.5            | ▲ 0.3       | 0.0              | 0.0              |
| I  | 2    | 0.0         | ▲ 0.1            | 0.0              | 0.0              | 0.4         | ▲ 1.9            | 0.0              |
| J  | 2    | 0.0         | ▲ 0.0            | 0.0              | ▲ 0.0            | ▲ 0.0       | 0.0              | ▲ 0.0            |
| K  | 2    | 0.0         | 0.9              | 0.0              | 0.0              | 1.0         | 0.0              | ▲ 0.1            |
| L  | 1    | 0.6         | 0.0              | 0.0              | ▲ 0.6            | 0.0         | 0.0              | 0.0              |

| 併住<br>用商 | 遊<br>興<br>泊<br>・<br>興<br>行 | ツ<br>ス<br>興<br>行<br>ー | 住<br>独<br>立<br>宅 | 住<br>集<br>合<br>宅 | 工<br>専<br>場<br>用 | 用<br>住<br>工<br>場<br>併<br>居<br>併 | 輸<br>倉<br>関<br>庫<br>係<br>運 | 漁<br>農<br>業<br>林 |
|----------|----------------------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------------------|----------------------------|------------------|
| ▲ 3.2    | ▲ 0.1                      | 0.1                   | ▲ 3.3            | 2.2              | 3.9              | 1.6                             | 8.3                        | 0.1              |
| 7.4      | 0.4                        | 1.0                   | 10.6             | ▲ 44.0           | 8.1              | 1.0                             | ▲ 1.1                      | ▲ 0.0            |
| 1.1      | 0.1                        | 0.0                   | 0.3              | ▲ 6.2            | 1.8              | 2.4                             | ▲ 0.2                      | ▲ 0.0            |
| 0.0      | ▲ 0.0                      | 0.3                   | 0.5              | 1.1              | 0.3              | ▲ 0.0                           | 0.3                        | 0.0              |
| 0.0      | 0.0                        | ▲ 1.2                 | 0.4              | 0.2              | 0.0              | 0.0                             | 0.0                        | 0.0              |
| 0.0      | 0.9                        | 0.0                   | 0.0              | 0.0              | 0.0              | 0.0                             | 0.8                        | 0.0              |
| 0.0      | 0.0                        | 0.0                   | 0.0              | 0.0              | 1.4              | 0.0                             | 0.1                        | 0.0              |
| ▲ 0.0    | 0.0                        | 0.0                   | ▲ 0.1            | 0.0              | 0.0              | 0.0                             | ▲ 0.0                      | 0.1              |
| ▲ 0.1    | 0.0                        | 0.0                   | ▲ 1.7            | 0.0              | 0.0              | 0.0                             | ▲ 0.1                      | 0.0              |
| 0.0      | 0.0                        | 0.0                   | 0.0              | 0.0              | 0.0              | 0.0                             | 0.0                        | 0.0              |

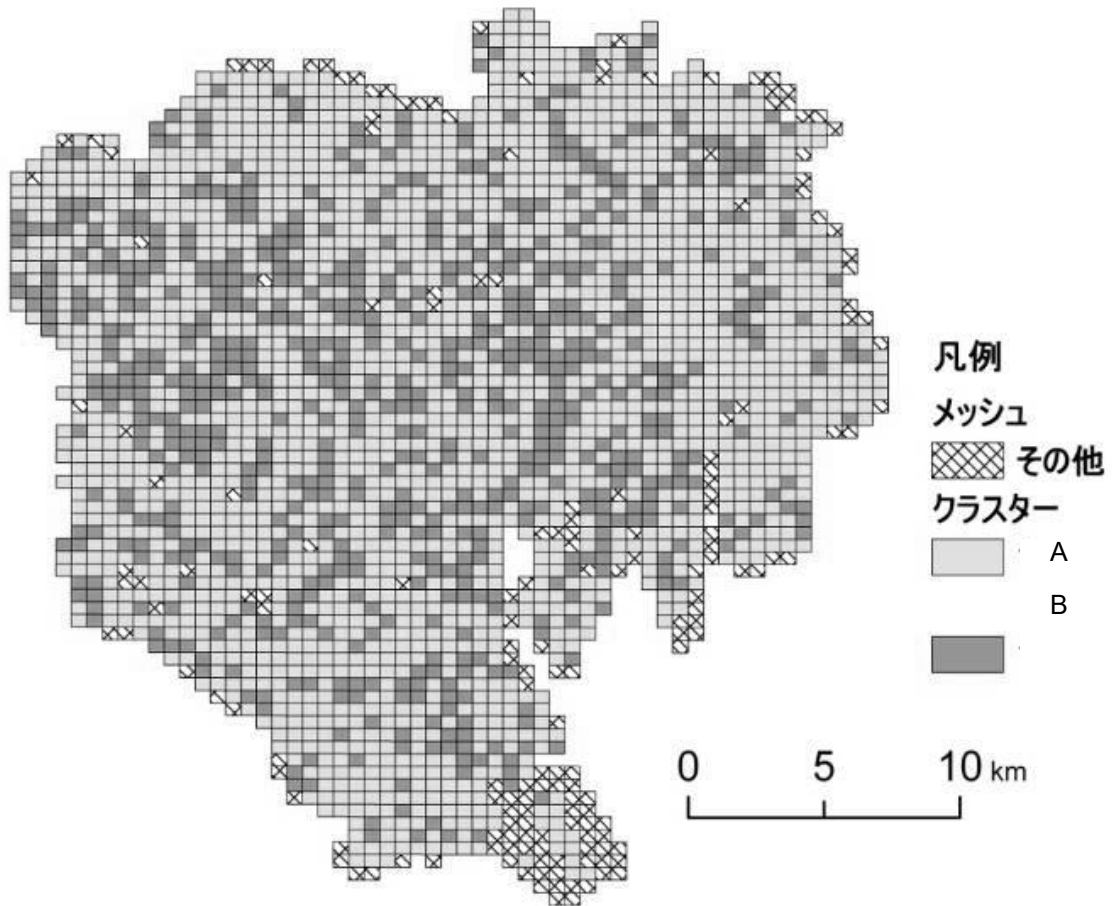


図 4-3-1 土地利用変化状況別のメッシュ分布

## (2) 土地利用変化を考慮した最適エネルギーシステムの導入のあり方

次に、こうした土地利用変化と、前章で分析した直近のエネルギー需要特性から明らかとなったエネルギー供給システム導入地区との関係を見る。

今回のシミュレーションで対象としたタイプ1・3・6の各抽出メッシュは、いずれも土地利用変化では業務・商業床が増加してきている分類Bに該当した。これらの地区に本研究で提案したエネルギー供給システムを導入する場合、①当該地における土地利用変化の傾向に応じて随時、設備システムを需要に対応した適切な機器へと更新していくか、②エネルギー供給システムの観点から、現在の用途・床面積の状況を維持しながら更新を行う仕組みを講じることが考えられる。ただし前者で建物用途の転換速度がエネルギー設備機器の投資回収期間と比べて著しく短い場合、需要に追随して機器を更新していくことは経済効率性の低下、建設・廃棄段階でのエネルギー消費増大につながる可能性がある。そのため、現実的に予測可能な範囲で複数時点のライフサイクル評価を継続して行っていくことが有効な対策の一つであろう。

以上、土地利用は用途地域制で一定程度の建物用途の規制を行っているものの、エネルギー有効利用の観点からみると望ましい誘導が図られているとは言えなかった。CO<sub>2</sub>排出量削減を目的とした特定地域で用途規制を行うなどの仕組みが考えられよう。

### 【補注】

---

- 1 中井裕(1995) 土地利用規制の空間単位としての敷地の定義に関する比較研究, 総合都市研究. 特別号, vo.55, pp.. 55-72

#### 4-4 まとめ

第4章を通して明らかになった点を以下にまとめる。

- ①現在の都市づくりでは、エネルギーは都市活動を支えるシステムとして存在している。本研究のシミュレーションを通して、1時点での建物用途、床面積から算出される熱負荷密度とそれに適したエネルギーシステムの検討は可能である。しかしながら、我が国は5年間で用途と建物床の構成が大きく変化し、エネルギーシステムが最適に稼働する形を維持し続けるのは難しい。これに対処するための都市計画側の対応策としては、土地利用規制の詳細化を図り、不確実な市街地の挙動を計画的視点のもとにコントロールしていくことが有効と考えられる。
- ②地域熱供給のような従来の地域エネルギー供給においては、導入システムと導入地域のエネルギー需要特性を考慮することでエネルギー有効利用が可能であった。これを一歩進め、自前の設備と周囲の分散型のエネルギー源との連携、各プラントの性能、更新時期などの情報を入れた上でのエネルギーマネジメントを行うことが考えられる。この実現に際しては、地方公共団体において関連各局の横断的な連携による主体的な取り組みが重要であることに加え、明確なエネルギー需給データに基づく計画づくりが求められる。ここで対応できなかった、地域エネルギーシステムが将来に渡って有効に機能し続けるための土地利用マネジメントのあり方とその方法を考えていくこと、部分負荷効率等を考慮した個別詳細な効果判定が、今後の課題である。

## 第5章 東京都心における低炭素都市づくりのあり方と市街地空間整備の方向性

### ■はじめに

都市開発における持続可能性の実現は、今日、世界各地で広く問われている課題である。持続可能性の重要な要素であるエネルギー分野について見ると、我が国では自治体においてエネルギーを専門に担当する部局はほとんどなく、環境行政の一部に組み込まれていることが多い。エネルギー基盤の構築は、海水、河川水などの公共水面を熱源や熱の処理先としての利用、施設の敷設のための公共空間の利用など、計画的に時間をかけて段階的に行うことが必要であるため、マスタープランの一項目として扱うなど、今後、都市計画に組み込むことが望まれている。

また、開発における持続可能性を実現するためには、要素技術のレベルから検討することが必要である。環境負荷低減を実現するための要素技術に関しては、環境アセスメントや汚染されたものの浄化技術は進んでいるものの、今後の持続可能な社会構築のために必要な物質とエネルギーの有効利用技術は開発の余地がある。特に、エネルギーの有効利用の仕組みを都市づくりの中に取り入れていくためには、具体的な検討が必要であり、都市計画制度上の枠組みを支えるためにも、要素技術のあり方の検討、それらのシステム化を含めたあるべき具体像を明らかにする必要がある。さらに、既存の省エネルギー技術、カスケード利用等によるエネルギー再利用技術に加えて、ケミカルヒートポンプ等のエネルギーを改質して再利用するエネルギーリサイクルの次世代技術を育てて導入していくことがサステナブルな開発として必要である。

本章では、4章の分析から、区の全域がエネルギー面的利用を図ることの可能性が高い地域として評価された千代田区に着目し、将来の市街地更新の中で展開されることが考えられる複数のエネルギー有効利用技術の効果を検討する。この検討の中では、エネルギー有効利用技術の中で特に熱の利用に関する課題が多く残されている現状を鑑み、地域冷暖房事業と工場排熱のオフライン輸送を対象として、将来の理想的な市街地のあり方を考察する。

本章の論点は以下の通りである。

- ①千代田区の行政計画で検討されている低炭素施策の枠組みを整理し、今後の都市低炭素化をどのようにして実現していく方向性にあるのかを明らかにすること
- ②千代田区の土地利用特性から考えられる、今後の区における低炭素施策の展開方向を3つ想定し、それぞれの施策展開が図られた場合の環境負荷低減効果について考察すること

## 5-1 千代田区における低炭素化施策の枠組みの方向性

まずは千代田区における現行の低炭素化施策の枠組みについて、各種行政資料をもとに明らかにする。なお、千代田区の施策枠組みを明らかにする際の前段として、全国各都市のCO<sub>2</sub>排出量の特徴を統計的に把握することで、当該区が全国的にどのような位置づけにあるかを客観的にみる。

### 5-1-1 都市別CO<sub>2</sub>排出量にみる千代田区の全国的位置づけ

まず、全国各都市のCO<sub>2</sub>排出量の特徴を明らかにするため、3時点の市区町村別部門別CO<sub>2</sub>排出量推計データ<sup>1</sup>を用いてクラスター分析（ウォード法、平方ユークリッド距離）を行う。なお、我が国の温室効果ガス排出量は民生部門のCO<sub>2</sub>排出量増加に大きく起因していることを鑑み、本分析ではとくに民生部門のCO<sub>2</sub>排出量データに着目する。分析指標には、都市規模の違いを考慮する尺度として①行政面積あたり民生部門CO<sub>2</sub>排出量（以下、「排出密度」）<sup>2</sup>、民生部門からのCO<sub>2</sub>排出量の割合を示す尺度として②民生部門CO<sub>2</sub>排出量占有率、国内の温暖化対策の機運との関係性を評価する尺度として③④地球温暖化対策推進法施行前後におけるCO<sub>2</sub>排出量増加率<sup>3</sup>および⑤増加加速率の5指標を考慮し、表5-1-1に示す7つのクラスターに分類した。以下、各クラスターの特徴を概説する。

表 5-1-1 全国都市別のCO<sub>2</sub>排出量特性

| 指標   | 自治体数 | ①  | ②                             | ③                                     | ④       | ⑤                |
|------|------|--|-------------------------------|---------------------------------------|---------|------------------|
|      |      | 行政面積あたり民生部門CO <sub>2</sub> 排出量(千t-CO <sub>2</sub> /km <sup>2</sup> ) | 民生部門CO <sub>2</sub> 排出量占有率(%) | 民生部門CO <sub>2</sub> 排出量増加率および増加加速率(%) |         |                  |
| 年次   | '08  | '00  | '00                           | '00/'90                               | '10/'00 | ④/③ <sup>註</sup> |
| (A)  | 8    | 102,532  | 81.3                          | 110.9                                 | 136.9   | 124.2            |
| (B)  | 37   | 25,057   | 61.9                          | 119.7                                 | 126.8   | 106.6            |
| (C)  | 310  | 2,495  | 48.0                          | 122.9                                 | 117.6   | 96.8             |
| (D)  | 456  | 2,076  | 22.8                          | 123.9                                 | 120.9   | 99.2             |
| (E)  | 561  | 1,229  | 29.6                          | 157.4                                 | 127.2   | 81.7             |
| (F)  | 7    | 1,118  | 37.4                          | 323.9                                 | 141.5   | 46.7             |
| (G)  | 415  | 305  | 32.5                          | 126.7                                 | 109.0   | 86.7             |
| 全国平均 |      | 2,391  | 32.6                          | 135.4                                 | 120.2   | 92.3             |

註<sup>1</sup>「(2010/2000)/(2000/1990)」の意  
資料)環境自治体会議「市町村別CO<sub>2</sub>排出量推計データ」、国土地理院「都道府県市区町村別面積調」より作成

まず①についてみると、①高い排出密度を示す(A)(B)、②中密度の(C)(D)(E)(F)、③低密度の(G)の3つに分類でき、この分類傾向は②をみた場合も同様のことがあてはまる。つまり、都市内の民生部門構成比と排出密度は比例関係にあることがわかる。次に③④をみると、各クラスター間の値には差のあるものの、全クラスターにおいて1990年、2000年代ともに排出量の増



加率は100%以上を示している。すなわち、すべての市区町村において、1990年以降、排出量の増加が生じていることを表している。しかしながら⑤をみると①と②③では違いがみられる。②③は排出量自体の増加こそ生じているものの、その増加率は1990年代と比較して2000年代は低減する方向にある。一方、①は1990年代には全国の中で最も増加率の抑制されていた地域であったが、2000年代には全国的な動向とは逆に増加率の上昇が生じている。(A)(B)の該当自治体をみると(図3-1-1)、いずれも都心部の自治体であることから、近年の人口・開発需要の都心回帰による影響が排出量増加の要因となっていることが考えられる。これらの地域では、他地域からの人口・開発需要の受け口となっていること、全国的には少数に限られることを考慮する必要があるものの、基本的には高次の排出量削減対策を実施する必要性が指摘できよう。

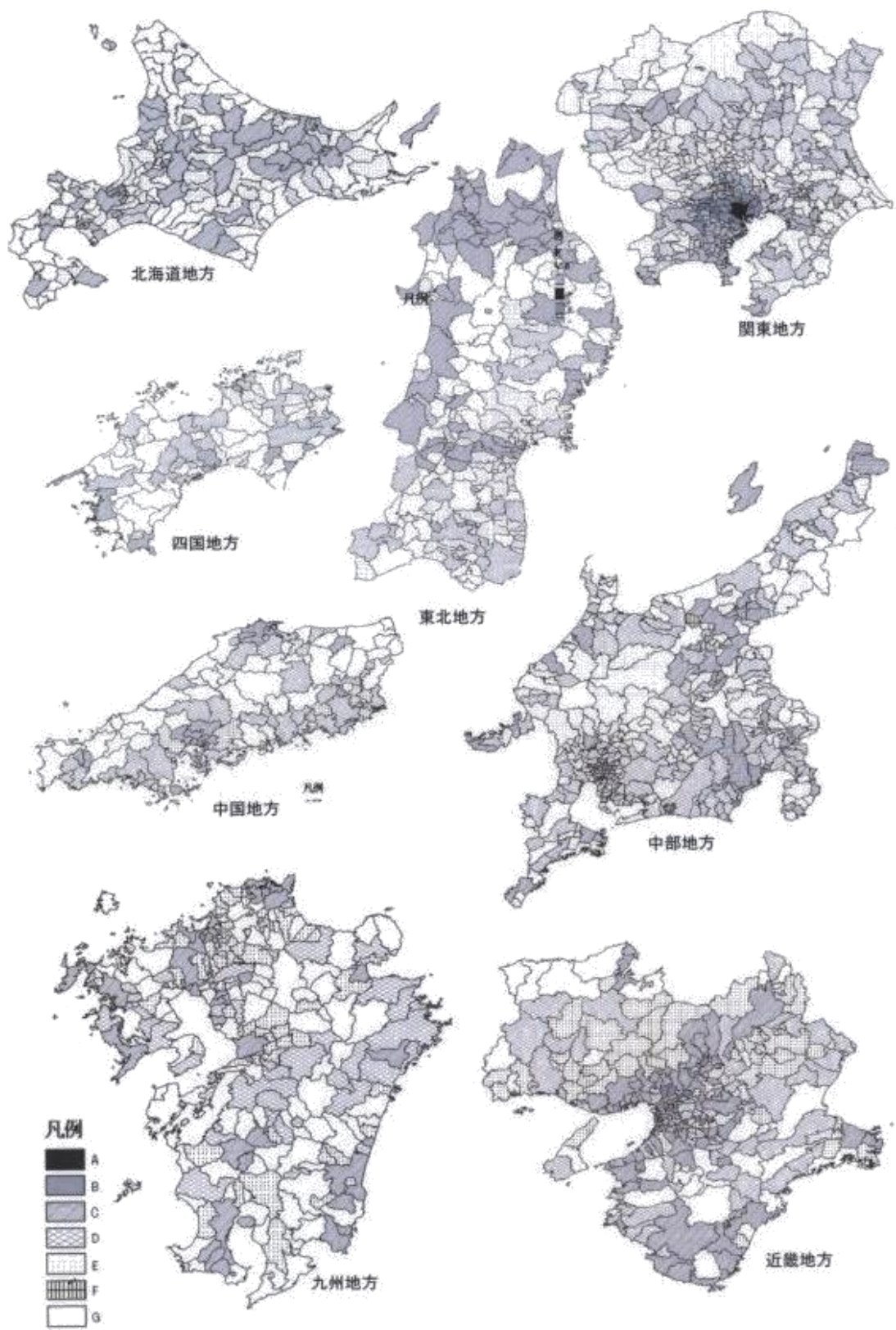


図 5-1-1 クラスター分析の分布

## 5-1-2 千代田区における低炭素化施策の枠組み

全国における千代田区のCO<sub>2</sub>排出量の特徴が明らかとなったところで、次に当該区の低炭素化施策の枠組みをみる。

### (1) 行政計画にみるCO<sub>2</sub>排出量削減対策の考え方

千代田区は2008年に施行した地球温暖化対策条例において、区内のCO<sub>2</sub>排出量を2020年までに1990年比で25%削減することを条文内に明記した全国初の自治体である。さらに、2050年には1990年比で50%の削減を目指すことを同条例内で明らかにしており、現在区ではこれらの削減数値目標の達成を目的とした施策の検討を行っている。千代田区の環境モデル都市アクションプランに記載された、2020年までに実施するとされているCO<sub>2</sub>削減施策を表5-1-2に示す。

表 5-1-2 千代田区の行政計画におけるCO<sub>2</sub>削減施策

| 取組みの方針       | 手法                           | 削減見込量 (t-CO <sub>2</sub> ) | 具体策、削減見込みの根拠 |                  |
|--------------|------------------------------|----------------------------|--------------|------------------|
| ↑<br>建物<br>↓ | 高水準な建物のエネルギー対策               | 建物の徹底したローカーボン化             | 27,600       |                  |
|              |                              | 区内新築建物の効率改善                | 231,000      |                  |
|              | まちづくりの機会と場を活かした面的対策の推進       | 区有施設のゼロカーボン化               | 188,450      | 区有施設へのRE導入       |
|              |                              | 少エネ家電等への買換え促進              | 211,000      | 家電機器トップランナー化     |
| ↑<br>地区<br>↓ | 温暖化対策促進地域の指定とアクションエリアプログラム策定 |                            | 27,000       | 区内500㎡以上建物PV導入   |
|              |                              |                            | 200          | 建物間熱融通           |
|              | 面的エネルギーの面的利用                 |                            | 40,000       | 既存DHCの高効率化       |
|              |                              | 地域交通対策                     | 154,600      | 地域内のグリーン物流       |
|              |                              | 面的ヒートアイランド対策               | 8,000        | 東京駅周辺に「風の道」創出    |
| 地域連携の推進      | モデル事業実施                      | 150                        | 東京駅へRE導入     |                  |
|              | グリーン電力購入                     |                            | 38,000       | 地方部に大規模風力発電建設    |
|              |                              | まちづくりCDM                   | 4,000        | 地方部にペレット製造プラント建設 |

資料)「千代田区環境モデル都市行動計画」

これより、3つの取組み方針は空間スケールの規模に応じて検討がなされていると解釈できる。すなわち、「建物」「地区」「都市圏」の単位による区分である。このうち最も大幅な削減を見込んでいる取組みは「建物」単位の対策であり、全削減見込量のうちの7割以上をこれにより賄う方針にある。都心に位置する千代田区では、業務床の開発需要が継続的に存在することから、その開発機会を捉えた対策に重点が置かれているものと考えられる。

しかしながらこれら「建物」単位の対策は国のガイドラインに例示されている施策であり、地域独自の対策として講じられたものとしての性格は有していない。国のガイドラインに例示されている施策以外の取組みとしては「地区」「都市圏」単位の施策となるものの、「建物」単位の対策と比較して補助的な位置づけにあることがわかる。事業導入の障壁が大きいものの削減効果が高いといわれる地域冷暖房等の面的エネルギー利用に関しては、大丸有地区や霞ヶ関地区

等の既設地区において高効率化を図るとする検討に留まり、他地域への新規導入は考えられていない。既往研究<sup>4</sup>によれば、千代田区の地域特性上、ほぼ全域に対して地域冷暖房の導入が可能であるとの試算結果が得られている。このことを鑑みると、固有の地域条件を最大限活用した施策とは言い難い。

さらに、この計画では現在の CO<sub>2</sub> 排出量の状況が中期目標である 2020 年まで一定で推移する予測の上に検討されており、将来的な CO<sub>2</sub> 排出量の変動は考慮されていない。しかしながら区の試算による将来の CO<sub>2</sub> 排出量の予測をみると、今後 2020 年までに民生部門の CO<sub>2</sub> 排出量は約 52 万 t 増加する見通しが立てられている（表 5-1-3）。つまり、現行計画上の対策では、中期に目標とする CO<sub>2</sub> 排出量値を達成することはできないことになる。この将来的な追加排出量の削減に加え、2050 年の長期目標の達成を考える際には、現行計画上の中心的対策とされている「機器・建物」単位の対策シナリオを強化する方策に加え、現在補助的な位置づけとしている「街区・地区」「都市」単位の対策拡充を検討することが課題となろう。

表 5-1-3 行政計画における部門別 CO<sub>2</sub> 排出量の見通し 単位: 万 t-CO<sub>2</sub>

| 部門 | 基準排出量<br>(1990 年) | 現況排出量<br>(2005 年) | BAU 排出量<br>(2020 年) | BAU からの<br>必要削減量 |
|----|-------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| 家庭 | 10.6              | 10.8              | 12.3                | 1.7              |
| 業務 | 163.5             | 206.4             | 255.7               | 92.2             |
| 運輸 | 57.3              | 56                | 56                  | -1.3             |
| 産業 | 17.5              | 7.1               | 7.1                 | -10.5            |
| 合計 | 249               | 280.3             | 331.1               | 82.1             |

資料: 千代田区(2010)「千代田区環境モデル都市行動計画」より作成

## (2) 計画実現のための事業制度

前項で考えられた「街区・地区」「都市」単位の対策を視野にいれた計画策定を行う上では、計画の実現を担保する手段としての事業制度が必要となる。そこで、千代田区が低炭素化施策を実現化するためのツールとして、どのような事業制度を有しているかを次にみる。なお、千代田区は特別区としての性格から制定可能な事業制度の範囲には限りがある。そのため、ここでは上位行政体である東京都の制度と照らし合わせて考察を行う。

千代田区および東京都の低炭素化施策に関連する事業制度一覧をまとめたものを表 5-1-4 に示す。これより、まず千代田区の制度に着目すると、現在運用のなされているものは (c)(d)(e)(h) の関係主体間の情報共有・基盤体制づくりを目的とした制度に限られ、(a)(b)(e)(g) といった排出量削減の実効ツールは現在検討段階にあることがわかる。このうち区内建物に関する取組みは (a)(b) の新規建築・開発事業、(e) の既存建物を対象とするものに分けられるが、いずれも小規模建物または一部の地区を対象とするに留まる。一方、東京都の制度をみると、排出量削減の実効ツールという面では、新規建築・開発事業、既存建物と両対象について多くの制度を有することがわかる。

表 5-1-4 東京都および千代田区における民生部門の少 CO<sub>2</sub> 対策に関連する施策の状況

| 主体   | 記号             | 名称                 | 目的   | 実施                     | 対象  |
|------|----------------|--------------------|--|------------------------|---|
|      |                |                    |  | 年度                     |   |
| 東京都  | A              | 都市開発諸制度            | ①特定街区、②高度利用地区、③再開発等促進区、④総合設計適用事業の CO <sub>2</sub> 削減 | 2009                   | ①②敷地面積 5 千 m <sup>2</sup> 以上の開発事業、③敷地面積 1 万 m <sup>2</sup> 以上の開発事業、④敷地面積 5 百 m <sup>2</sup> 以上の建築事業 |
|      | B              | 建築物環境計画書           | 大規模建築事業の環境配慮   | 2009                   | 延床面積 1 万 m <sup>2</sup> 以上の新築等建築物   |
|      |                |                    |  |                        | 延床面積 5 千 m <sup>2</sup> 以上の新築等建築物   |
|      |                |                    |  |                        | 延床面積 2 千 m <sup>2</sup> 以上の新築等建築物   |
|      | C              | 地域エネルギー有効利用計画書     | 大規模開発事業のエネルギー有効利用                                    | 2009                   | 延床面積 5 万 m <sup>2</sup> 以上の開発事業   |
| D    | 総量削減義務と排出量取引制度 | 大規模事業所の温室効果ガス削減    | 2009   | 燃料 1.5ML/年以上の既存事業所     |   |
| E    | 地球温暖化対策報告書     | 中小規模事業所の温室効果ガス削減   | 2009   | 燃料 30～1500kl/年未満の既存事業者 |   |
| 千代田区 | a              | 建築物計画書             | 中小規模建築事業の環境配慮促進                                      | 2011                   | 延床面積 5 千 m <sup>2</sup> 未満の新築等建築物   |
|      | b              | 低炭素まちづくり型地区計画      | 再開発事業における CO <sub>2</sub> 削減                         | 2009                   | 都市再生区域、既存 DHC 地区等   |
|      | c              | グリーンエネルギー千代田イニシアチブ | 再生可能エネルギー導入の専門的知見提供                                  | 2009                   | 区内企業・区民   |
|      | d              | サポートセンター           | 温暖化対策における総合的窓口提供                                     | 2009                   | 区内企業・区民   |
|      | e              | 省エネ基金              | 省エネ家電普及  | 2011                   | 区内一般家庭  |
|      | f              | 生グリーン電力購入プロジェクト    | CO <sub>2</sub> 削減と地方経済育成の両立                         | 2011                   | モデル地区   |
|      | g              | まちづくり CDM          | CO <sub>2</sub> 削減と地方経済育成の両立                         | 2011                   | モデル地区   |
|      | h              | 自主行動計画策定・実施支援      | 11 大学の自主行動計画策定・実施支援                                  | 2012                   | 区内 11 大学  |

資料)東京都環境局温暖化対策 HP(<http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/sgw/>)、千代田区環境モデル都市行動計画

以上のことから、今後千代田区において「街区・地区」「都市」単位の対策拡充を検討していく上では、東京都との連携を図っていくことが重要と考えられる。

#### 【補注】

- 1 環境自治体会議 (2007) 「市町村 別温室効果ガス排出量推計データ」環境省委託事業
- 2 一般的には延床面積あたりの排出量で評価されることが多いが、ここでは絶対量として大きさを見ることを目的としているため、土地面積あたりの評価としている
- 3 実際には 1998 年の施行であるが、厳密にデータ対応を図ることができないため、ここでは 2000 年を施行年度と仮定して以降の分析を行っている。
- 4 佐土原聡ほか (1995) 「東京都 区 部におけるコージェネレーション導入地区の選定に関する研究」日本建築学会計画系論文集 No.468,pp.47-54

## 5-2 千代田区におけるエネルギー需要のモデル化

前節で見た千代田区の現行低炭素施策は、建物レベルのエネルギー施策を中心とした枠組みとなっており、また、将来的な延床面積増加に伴う CO<sub>2</sub> 排出量増加分への削減対策が未考慮の状態にあった。一方、4章でみた特別区全体におけるエネルギー需要のモデル化の結果から、千代田区は皇居以外の全ての地区で「エネルギー面的利用」の検討に適う熱負荷密度を有する地域特性を持っていることを明らかにした。

以降の分析ではエネルギー面的利用がなされた場合の効果について分析する。既存の街の中では、季節建物が存在し、それらは個別熱源方式の採用、設備更新の際に地域冷暖房に接続しやすいセントラル方式の採用、地域冷暖房にすでに接続など、様々なタイプが存在する。ここでは、千代田区の皇居を除くすべての地区が、仮に低炭素型市街地のために、「エネルギー面的利用」を地域ベースで接続した場合、という仮想的な環境負荷低減効果を検討する。こうした考察は、現実の都市とは異なるものの、今後、長期を経て更新される市街地の中で、低炭素型市街地形成を行うことの意義を見出すために行うものである。

ここでは、各種の施策検討に際して共通の基礎データとなる現況市街地のエネルギー需要のモデル化と、将来的な延床面積の地区別増加量を予測する。

### 5-2-1 現況市街地におけるエネルギー需要のモデル化

#### (1) 推定方法と諸条件

まず、表 5-2-1 に示す原単位法を用いて、区内に存在するすべての個別建物ごとの熱・電力需要量、エネルギー消費量、CO<sub>2</sub> 排出量の推計を行う。具体的には、まず I. 建物用途別の熱・電力需要原単位に GIS データより算出した建物用途別延床面積を乗じて、個別建物ごとの熱・電力需要量を推定する。次に II. 熱・電力需要量を賄うための電源・熱源設備システム採用比率、および各設備システムの効率等を設定して①に乘じ、エネルギー燃料種別エネルギー消費量を推定する。最後に、III. 各燃料種別 CO<sub>2</sub> 排出係数を②に乘じて CO<sub>2</sub> 排出量を推定する。

表 5-2-1 エネルギー需要のモデル化

| 手順  | 概要  |
|-----|---|
| I   | GIS より千代田区の民生建物の用途別延床面積を棟別に算出し、熱・電力需要量に換算                           |
| II  | 建物用途別・規模別に電源・熱源システム構成比及び機器効率等を設定し、熱・電力需要量を燃料種別エネルギー消費量に換算           |
| III | 燃料種別エネルギー消費量に各種燃料種別 CO <sub>2</sub> 排出係数を乗じて CO <sub>2</sub> 排出量に換算 |

なお、3章で推定したエネルギー需要モデルでは時刻別・月別・季節別の負荷変動を考慮したモデルを作成したが<sup>1</sup>、ここでは時間別の需要変動は考慮しないこと、また、需要と供給は同じと仮定して熱供給を行うと設定する。また、千代田区内には現在 11 の地域熱供給地区が存在する。これら地区内の建物については別途の計算を行う必要が考えられるものの、補正に必要なデータが得られなかったことから、個別のエネルギーシステムを採用しているものと仮定して推計を行った。この点は今後の改善を図る必要がある。

## ① 熱・電力需要原単位、対象建物床面積

GIS データと熱・電力需要原単位の建物用途区分には相違が存在することから、表 5-2-2 に示す対応付けを行なった。建物延床面積のうち「供給処理施設」、「専用工場」については熱・電力需要原単位の存在しないことから推計対象から除外した。なお、千代田区内の総建物延床面積のうちこれら 2 用途の占める割合は約 0.2% である。

表 5-2-2 熱電力需要原単位と建物延床面積

| 建物用途別の熱・電力需要原単位 |     |      |     |     | 千代田区の建物用途別延床面積        |
|-----------------|-----|------|-----|-----|-----------------------|
| 建物用途            | 暖房' | 給湯   | 冷房  | 電力  | 建物用途                  |
| 住宅              | 70  | 198  | 74  | 46  | 集合、独立、住商併用、住居併用<br>工場 |
| 業務              | 206 | 54   | 293 | 170 | 官公庁、事務所               |
| 商業              | 74  | 95   | 354 | 291 | 専用商業                  |
| 医療              | 330 | 849  | 507 | 185 | 厚生、医療                 |
| 宿泊              | 486 | 1277 | 268 | 133 | 宿泊                    |
| 娯楽              | 177 | 264  | 288 | 200 | 遊興、スポーツ、興行            |
| 文化              | 354 | 0    | 177 | 63  | 文化、宗教                 |
| 教育              | 235 | 0    | 91  | 55  | 教育                    |
| その他             | -   | -    | -   | -   | 供給処理、運輸倉庫、農林漁業        |

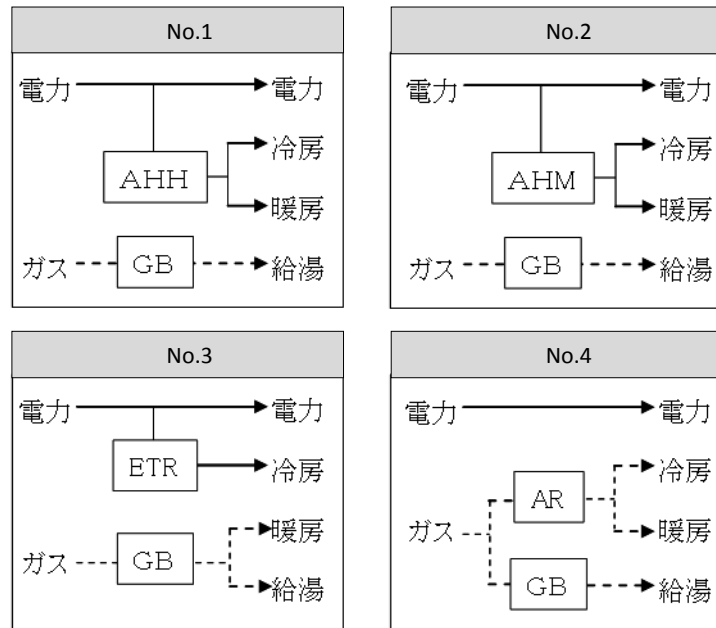
資料：地域冷暖房協会(1995)「プロジェクト 2010 日本全国地域冷暖房導入可能性調査平成6年度報告書」、平成 18 年度東京都都市計画基礎調査

## ② 既存の熱・動力等供給設備システムの構成

既存建物における熱・動力等の供給設備システム構成は、既往研究<sup>2</sup>の方法を参考にして、住宅建物：1 システム、業務系建物：3 システムを設定した。熱・動力等供給設備システム構成を図 5-2-1、同設備システム採用比率を表 5-2-3、各機器効率を表 5-2-4 にそれぞれ示す。

なお、実際の市街地現況には、トップランナー基準の高効率機器を導入した建物が存在する。都市のエネルギー需要を推定する目的では、可能な限り現実の事象を忠実に再現することに努めることが要求される。エネルギー効率の良く高水準な建物については別途の補正が必要と考えられるものの、個別建物ごとの現況データが得られないため、本推計ではこれらの要素、並びに補機動力や機器の部分負荷特性、温度条件変化による入出力特性等は考慮せず、区内に存在するすべて建物が標準的な効率・COP と仮定して推計を行った。

また、本研究では補機動力や機器の部分負荷特性、温度条件変化による入出力特性等は考慮できていない。この点は今後推計精度の改善を図る必要がある。



註) 図中の記号は熱源機器の略称。表 5-2-3 参照

図 5-2-1 システム構成

表 5-2-3 建物規模別の熱源・電源システム採用比率

| 用途 | 規模(m <sup>2</sup> ) | No.1 | No.2 | No.3 | No.4 |
|----|---------------------|------|------|------|------|
| 住宅 | -                   | 100  |      |      |      |
| 業務 | 0 - 5,000           |      | 55   | 15   | 30   |
|    | 5,000 - 10,000      |      | 50   | 15   | 35   |
|    | 10,000 - 30,000     |      | 25   | 20   | 55   |
|    | 30,000 -            |      | 20   | 20   | 60   |
| 商業 | 0 - 5,000           |      | 60   | 30   | 10   |
|    | 5,000 - 10,000      |      | 55   | 15   | 30   |
|    | 10,000 - 30,000     |      | 20   | 30   | 50   |
|    | 30,000 -            |      | 15   | 35   | 50   |
| 医療 | 0 - 5,000           |      | 30   | 5    | 65   |
|    | 5,000 - 10,000      |      | 5    | 25   | 70   |
|    | 10,000 - 30,000     |      | 5    | 25   | 70   |
|    | 30,000 -            |      | 0    | 30   | 70   |
| 宿泊 | 0 - 5,000           |      | 35   | 5    | 60   |
|    | 5,000 - 10,000      |      | 0    | 30   | 70   |
|    | 10,000 - 30,000     |      | 0    | 25   | 75   |
|    | 30,000 -            |      | 0    | 25   | 75   |
| 娯楽 | -                   |      | 0    | 25   | 75   |
| 文化 | -                   |      | 15   | 35   | 50   |
| 教育 | 0 - 5,000           |      | 45   | 25   | 30   |
|    | 5,000 - 10,000      |      | 35   | 30   | 35   |
|    | 10,000-             |      | 25   | 35   | 40   |

資料：建築設備技術者協会「建築設備情報年報」より作成



表 5-2-4 機器効率、換算係数等

単位:倍

| 機器等(略称)           | 効率、COP 等      |
|-------------------|---------------|
| 家庭用パッケージエアコン(AHH) | 冷房:5.0、暖房:5.0 |
| ビル用マルチエアコン(AHM)   | 冷房:2.6、暖房:3.1 |
| ターボ冷凍機(ETR)       | 冷房:5.0        |
| ボイラー(BR)          | 暖房・給湯:0.9     |
| 直焚式吸収冷温水器(AR)     | 冷房:1.1、暖房:0.8 |

資料: 浅井ほか(2005)「既存 建物群の更新を考慮した都市業務部門の省エネルギーポテンシャル評価」、環境省「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度」<http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc>

## (2) モデル推定値の簡易検証

実態としての熱・動力等需要量のデータが存在しないことから、モデルによる推定値の精度を厳密に検証することはできない。しかし何らかの方法によって本推計による推定値の妥当性を検証することは必要である。そのため、ここでは「千代田区新エネルギービジョン」における都市レベルでのエネルギー消費量および CO<sub>2</sub> 排出量の値と、本推計による建物ごとに推定したエネルギー消費量および CO<sub>2</sub> 排出量の集計値を比較することにより、簡易な精度検証を試みる。ここで、両データの比較を行う際、計算方法の違いが存在することから、新エネルギービジョンの値を以下に示す処理を行ない対応させた。

- ・新エネルギービジョンにおけるエネルギー消費量のうち、電力に関しては二次エネルギー換算（3.6 MJ/kWh）で表示されている。本推計は電力を一次エネルギーで評価しているため、この整合をとるために新エネルギービジョンの値を本推計と同じ条件（9.76 MJ/kWh）で一次エネルギー換算した。
- ・新エネルギービジョンにおける家庭部門の灯油消費量は、計算の簡略化のためガス消費量の値に含めて計算した。
- ・CO<sub>2</sub> 排出量に関しては、上記作業で単位変換、簡略化したエネルギー消費量に本推計と同じ排出係数（電力：0.339 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、ガス：46.05 MJ/m<sup>3</sup> および 2.195 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>）を乗じて計算した。

上記の整合処理を経て、本推計による個別建物ごとのエネルギー消費量および CO<sub>2</sub> 排出量の集計値と千代田区新エネルギービジョンに記載された都市全域におけるエネルギー消費量および CO<sub>2</sub> 排出量の値を比較したものを表 5-2-3 に示す。これより、家庭・業務の両部門において推計値の方が大きくなっていることがわかる。これは新エネルギービジョンの記載値が 2003 年度の値であり、本推計は 2006 年度の延床面積を基準とした推定値であることから生じた乖離と考えられる。特に家庭部門については、GIS データの建物用途区分のうち「住商併用建物」「住居併用工場」を一括して「住宅」の用途に含めたため、その誤差が非常に大きく現れる結果となっ

た。しかしながら新エネルギービジョンのデータは東京都全体のエネルギー消費原単位の平均値を用いて算定したものであり、千代田区のエネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量の実態を正確に示したのではない。このことを鑑みて、本研究ではモデルによる推定値が一定・度の妥当性があるものと見なし、以降の分析に使用するベースデータとした。

表 5-2-3 推定値の検証

|   | 住宅    |       | 業務     |        |
|---|-------|-------|--------|--------|
|   | 推計値   | 市の公表値 | 推計値    | 市の公表値  |
| エネルギー消費量(TJ)                              | 1,435 | 608   | 32,934 | 20,436 |
| CO <sub>2</sub> 排出量(千 t-CO <sub>2</sub> ) | 98    | 42    | 1,619  | 1,628  |

### (3) CO<sub>2</sub> 排出量の需要構造の特徴

#### ① 区全域としての特徴

表 5-2-4 建物用途別の熱・電力需要量、エネルギー消費量、CO<sub>2</sub> 排出量 別エネルギー需要の値を表 5-2-4 に示す。これより、全建物用途において、それぞれで必要としている冷温熱・電力需要量の用途別比率に対して、エネルギー消費量におけるその電力比率が 20～30%程度上昇している。これは冷暖房の熱需要を賄うためのエネルギー源として電力が使用されているためである。これが影響して各用途の CO<sub>2</sub> 排出量は電力需要に起因するものが支配的な状況となっている。特にその乖離の度合いが大きい建物用途は住宅、医療施設である。これらの用途では空調用の電力使用量低減、または高効率な熱源機器への更新によって排出量低減を図る仕組みの構築が求められよう。しかし実数ベースで見た場合、千代田区の建物用途構成の約 69%を占める事務所からの電力需要に起因する排出量が過半数である。これより、区全体の CO<sub>2</sub> 排出量削減には、その対策に重点をおいた施策を講じることが重要と言える。

表4-2-6 建物用途別の熱・電力需要量、エネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量

| 用途  | 住宅  | 事務所   | 商業     | 医療    | 宿泊  | 娯楽    | 文化  | 教育  | 計     |        |
|---|-----|-------|--------|-------|-----|-------|-----|-----|-------|--------|
| 延床面積(万 m <sup>2</sup> )                         | 329 | 1,722 | 73     | 28    | 114 | 19    | 54  | 175 | 2,516 |        |
| 熱・電力<br>需要量<br>(TJ)                             | 暖房  | 231   | 3,548  | 55    | 93  | 553   | 34  | 191 | 412   | 5,117  |
|   | 給湯  | 651   | 923    | 70    | 240 | 1,453 | 51  | 0   | 0     | 3,387  |
|   | 冷房  | 244   | 5,039  | 260   | 144 | 305   | 56  | 95  | 159   | 6,301  |
|   | 電力  | 545   | 10,541 | 770   | 189 | 545   | 139 | 122 | 347   | 13,199 |
|   | 計   | 1,672 | 20,051 | 1,154 | 666 | 2,855 | 280 | 409 | 918   | 28,004 |
| エネルギー<br>消費量<br>(TJ)                            | 暖房  | 125   | 3,370  | 54    | 91  | 415   | 34  | 193 | 410   | 4,690  |
|   | 給湯  | 794   | 990    | 79    | 241 | 1,099 | 50  | 0   | 0     | 3,253  |
|   | 冷房  | 132   | 4,498  | 225   | 121 | 153   | 46  | 77  | 133   | 5,385  |
|   | 電力  | 1,479 | 28,579 | 2,087 | 512 | 916   | 377 | 331 | 942   | 35,222 |
|   | 計   | 2,530 | 37,437 | 2,445 | 964 | 2,583 | 506 | 601 | 1,484 | 48,550 |
| CO <sub>2</sub><br>排出量<br>(千t-CO <sub>2</sub> ) | 暖房  | 12    | 218    | 4     | 5   | 22    | 2   | 11  | 26    | 298    |
|   | 給湯  | 41    | 50     | 4     | 12  | 56    | 3   | 0   | 0     | 166    |
|   | 冷房  | 12    | 330    | 18    | 7   | 9     | 3   | 5   | 10    | 396    |
|   | 電力  | 139   | 2,691  | 197   | 48  | 86    | 35  | 31  | 89    | 3,317  |
|   | 計   | 204   | 3,290  | 223   | 73  | 173   | 42  | 47  | 125   | 4,177  |

## ② 需要の地域偏在

次に、都市内の各地域にどのようなエネルギー需要の偏在が生じているか、町丁目を単位として各地区の特徴を見る。

個別建物ごとの熱・電力需要量の状況を地区別に集計したものを図 5-2-1, 5-2-2 に示す。これより、各地区の熱・電力需要量の分布状況は建物用途構成、建物規模の違いにより多種多様の状況となっていることがわかる。実際のエネルギー政策実施過程においては、これらの地域偏在を考慮して有効となる施策を展開していくことが必要になる。特に面的エネルギー利用等の施策を講じる場合には、各地区の熱・電力需要量の多寡とその需要変動パターンの違いを詳細に考慮することが求められる。本推計の推定プロセスを援用することで、面的エネルギー利用等、多面的な施策を講じるための基礎データを得ることが可能となる。

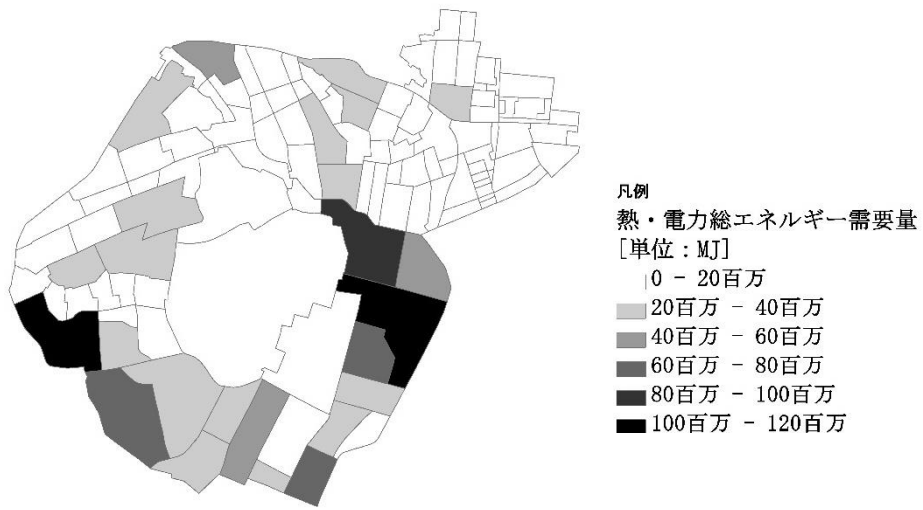


図 5-2-1 熱・電力総エネルギー需要量

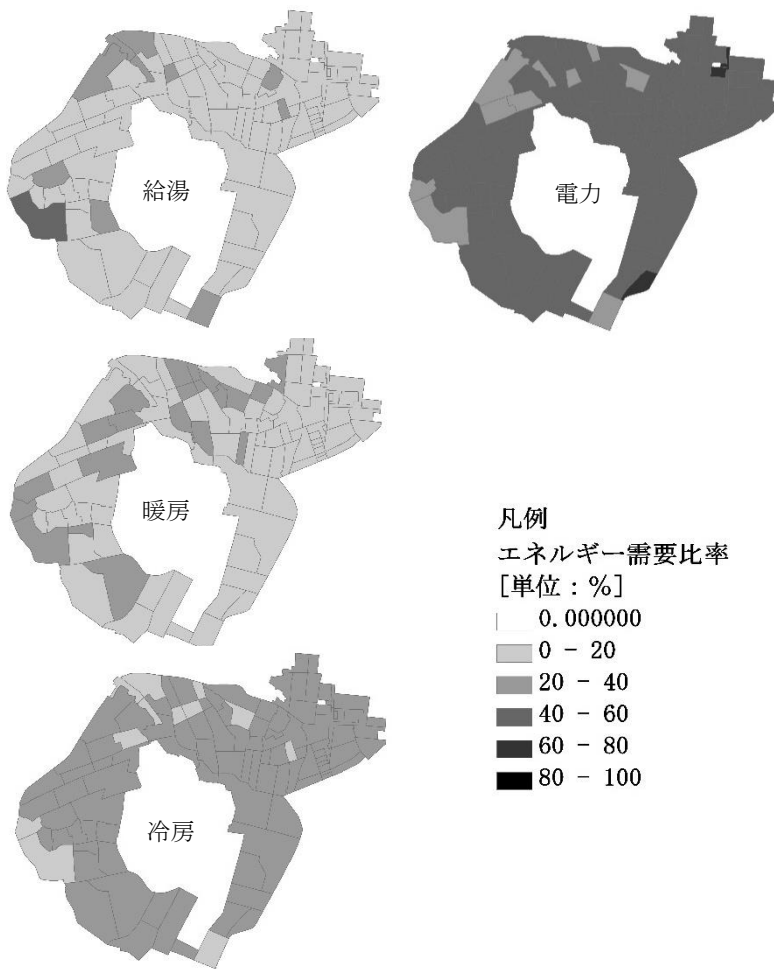


図 5-2-2 地区別のエネルギー需要種別比率

## 5-2-2 将来的なエネルギー需要変化の予測

次に、将来における建物延床面積の増加に伴うエネルギー需要の将来変化を検討する。ここでは町丁目別に建物延床面積の将来推計を行い、それに付随してエネルギー需要も変化すると仮定する。将来的な需要変動要因には、建物延床面積の増減の他に、①需要原単位の改善または悪化、②建物用途構成の変化（需要の空間分布）、③生活パターンの変化（需要の時間分布）などが考えられるものの、これらの要素をすべて組み込んだ将来予測は不確実性が大きくなってしまいうことから、本検討では建物延床面積のみを予測の対象とする。

将来的な建物延床面積変化のシナリオとして、ここでは2つのケースを設定する。1つは、現状の建物延床面積を維持するケースであり、もう1つは、成長曲線にしたがって建物延床面積が増加するケースである。以降の分析においては、前者の建物延床面積変化のケースを「延床面積 BAU - 維持」、後者の建物延床面積変化のケースを「延床面積 BAU - 増加」と呼ぶ。

「延床面積 BAU - 維持」は5-2-1で推定した現況のエネルギー需要モデルと同じものである。以下、「延床面積 BAU - 増加」の将来予測方法について、図5-2-3に示す3つのStepに分けて述べる。

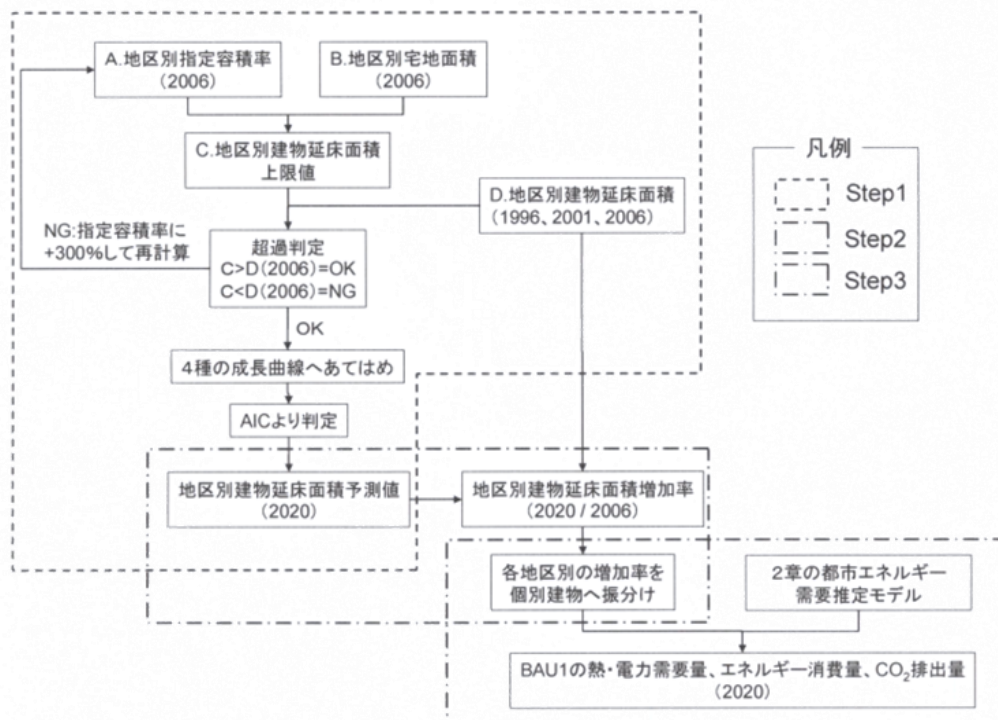


図 5-2-3 延床面積 BAU-増加の推計フロー

## (1) STEP1 : 成長曲線へのあてはめ

まず、千代田区内の将来建物延床面積を推計する。基本的には過去の開発傾向を維持して2020年まで趨勢的に推移すると仮定した場合の変化を対象とするトレンド予測の方法を用いる。将来予測を行なう際の空間単位としては①建物、②町丁目、③都市の3つのレベルが考えられるものの、①は推計に必要なデータが得られなかったこと、③は都市内の地域特性が反映されないことなどの理由から、本研究では②を単位とした。なお、千代田区内の115町丁目のうち、「皇居外苑」「千代田」「北の丸公園」「日比谷公園」の4地区については建物延床面積の増減を考慮することが現実的でないこと、「相生町」については解析値の安定性が著しく損なわれることを理由として推計対象から除外し、現状のまま一定で変化しないものとした。

3時点(1996、2001、2006)の町丁目別建物延床面積データを用いて、各地区別に4種の成長曲線へのあてはめ<sup>3</sup>を行い、AICの値から判断してあてはまりの最も良い曲線を採用した。以下、あてはめに使用した4種の成長曲線とAICの評価式等を記す。

### ■あてはめに使用した成長曲線

1. ロジスティック曲線  $y = \frac{K}{1+be^{-cx}}$
2. ゴンペルツ曲線  $y = Kbe^{-cx}$
3. プロディ曲線  $y = K(1 - be^{-cx}) \frac{K}{1+be^{-cx}}$
4. ベルタランフィ曲線  $y = K(1 - be^{-cx})^3$

ただし、

- $y$  : 町丁目の将来延床面積(m<sup>2</sup>)  
 $x$  : 予測期間(1996年:0期~2020年:14期)  
 $K$  : 延床面積上限値(m<sup>2</sup>)  
 $b, c$  : パラメータ

### ■成長曲線の評価方法

赤池情報量基準(AIC)  $AIC = n \log \left( \frac{Q}{n} \right) + 2k$

ただし、

- $n$  : データ数  
 $Q$  : 残差平方和  
 $k$  : 推定するパラメータの数

### ■その他条件

- 解析ソフト : Excel2003 ソルバー  
パラメータの推定方法 : 準ニュートン法  
パラメータの初期値 :  $b = K/10, c = 0.1$

成長曲線へのあてはめを行なう際、都市開発諸制度<sup>4</sup>等の活用により現状建物延床面積が上限値を超過している地区がいくつか存在する。これら超過地区の将来予測に関して、同諸制度活用方針<sup>5</sup>の記載事項を参考にして、指定容積率に300%を上乗せした値を上限値として補正を行なった。ここでは例として西神田三丁目地区の予測結果を図5-2-4に示す。

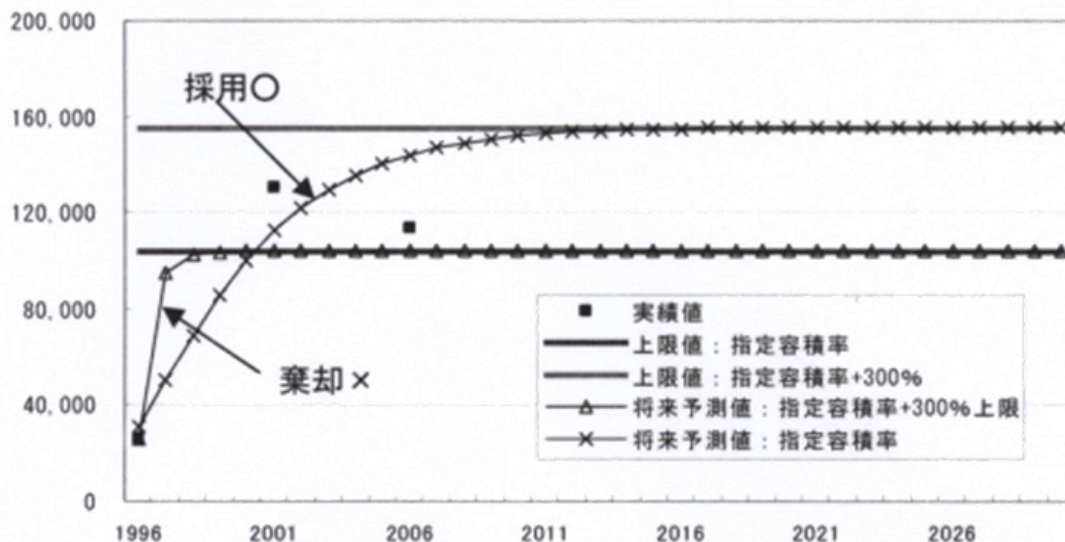


図 5-2-4 西神田 3 丁目の床面積予測の例

成長曲線へのあてはめによる各地区の将来建物延床面積の増加予測量を図5-2-5示す。これより、将来の床面積増加量は地区によって大きく開きのある結果となった。2020年までに予想される千代田区全体の増加建物延床面積は6,313,846 m<sup>2</sup> (約42万m<sup>2</sup>/年)と推計され、2006年時点より約1.22倍増加する見通しとなった。なお、本研究では建物延床面積のみの変化を扱っていることから、各建物のエネルギー需要構造の変化は生じていない。

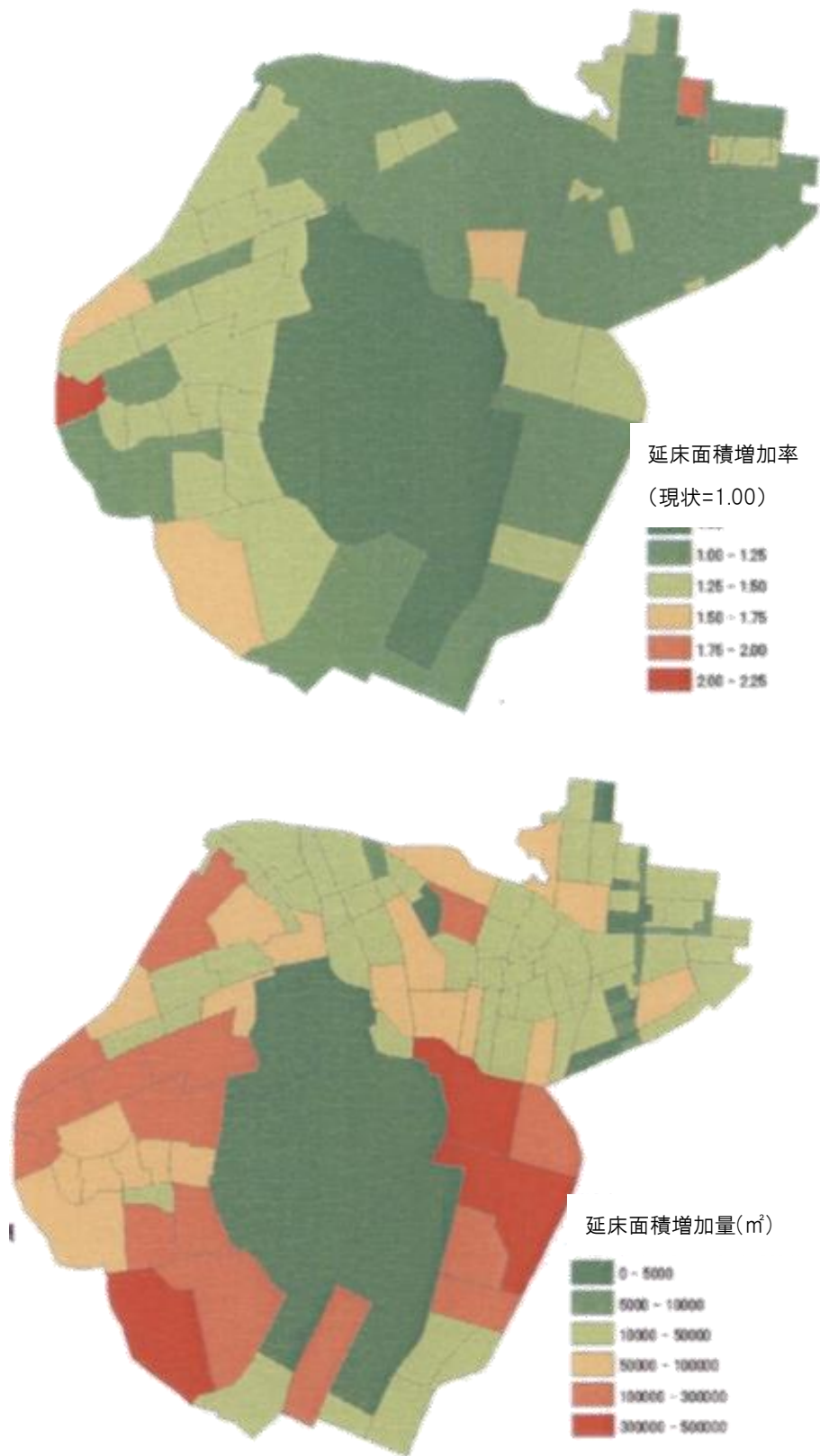


图 5-2-5 将来床面積予測(上:増加率、下:増加量)



## (2) STEP:2 町丁目内個別建物への増加率配分

次に、町丁目レベルで推計した将来建物延床面積の増加率（量）を、個別建物に配分する。ここでは簡単化のため、各地区別の推計増加率をそれぞれの町丁目内に存在する個別建物に一律に乘じる方法をとった。これにより 2020 年時点における千代田区内の各個別建物毎の建物延床面積が求められる。

## (3) STEP3:都市エネルギー需要推定モデルの適用

上記の個別建物毎の将来建物延床面積データを、5-2-1 で設定したエネルギー需要のモデル化プロセスに適用することで、2020 年時点における各個別建物毎の熱・電力需要量、エネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量を計算する。なお、将来のエネルギー需要モデルにおいては、建物規模の変化に伴う電源・熱源設備システムの変更は考慮しないこととした。また、本研究では需要地における対策効果を見る目的から、系統電力の排出係数は現状と同一値とする。

以上 3 つの Step を経て「延床面積 BAU – 増加」の推計作業が完了となる。「延床面積 BAU – 増加」は、「延床面積 BAU – 維持」すなわち現況市街地のエネルギー需要モデルの建物延床面積を変化させた推計値であることから、熱・電力需要量、エネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量の各値は「延床面積 表 3-3-1 シナリオ別の CO<sub>2</sub>排出量等

各市街地更新シナリオにおける熱・電力需要量、エネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量の推計値は表 5-3-1 の通りである。

表 5-3-1 2020 年における千代田区全体のエネルギー需要、エネルギー消費、CO<sub>2</sub>排出量の予測値

| 延床面積変化シナリオ    | 需要量・消費量・排出量         | 暖房    | 給湯    | 冷房    | 電力     |
|---------------|---------------------|-------|-------|-------|--------|
| 延床面積 BAU – 維持 | 熱・電力需要量             | 5,117 | 3,387 | 6,301 | 13,199 |
|               | エネルギー消費量            | 4,655 | 3,521 | 5,318 | 35,783 |
|               | CO <sub>2</sub> 排出量 | 287   | 167   | 384   | 3,370  |
| 延床面積 BAU – 増加 | 熱・電力需要量             | 6,218 | 4,059 | 7,654 | 16,017 |
|               | エネルギー消費量            | 5,655 | 4,228 | 6,460 | 43,424 |
|               | CO <sub>2</sub> 排出量 | 349   | 201   | 468   | 4,089  |

以上、都市の多面的な CO<sub>2</sub>削減施策を検討するために必要となる詳細なエネルギー需要状況を把握する方法、すなわち都市内に存在する全個別建物毎の熱・電力需要量、エネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量の推定モデルを構築した。次節、これら 2 つのエネルギー需要モデルに対してエネルギー施策の適用を検討する。

## 【補注】

---

- 1 例えばデータセンター、外資系金融機関等のかかりの時間と需要の高いものによる差
- 2 浅井崇志, 山口容平, 下田吉之 (2005) 「既存 建物群の更新を考慮した都市業務部門の省エネルギーポテンシャル評価」 日本都市計画学会学術研究論文集 No.40,pp.19-24
- 3 建物延床面積の将来予測の方法に関しては、人口推計予測を応用した手法が一般的である。しかし本研究のような町丁目を単位とする小地域推計を行なう場合、人口推計予測を用いると出力結果の安定性が著しく損なわれる。そのため本研究では建物延床面積データのみを使用した推計方法として成長曲線へのあてはめを採用した。
- 4 都市開発諸制度とは、公開空地の確保など公共的な貢献を行う建築計画に対して、容積率や斜線制限などの建築基準法に定める形態規制を緩和することにより、市街地環境の向上に寄与する良好な都市開発の誘導を図る制度のことで、①再開発等促進区を定める地区計画、②特定街区、③高度利用地区、④総合設計の4制度をいう。
- 5 東京都都市整備局 HP 「新しい都市づくりのための都市開発諸制度活用方針（平成20年12月22日改定版） [http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/seisaku/new\\_ctiy/](http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/seisaku/new_ctiy/)

### 5-3 千代田区における多面的なエネルギー施策展開の可能性分析

ここでは、千代田区において取りうると考えられる今後のエネルギー施策の展開方向を3パターン想定し、それぞれのパターンごとに環境負荷低減効果の試算と施策実現に際しての課題を考察する。エネルギー施策の3パターンは、「建物レベル」「町丁目レベル」「都市圏レベル」の空間スケールに応じたエネルギー施策を考える。具体的には、「個別熱源機器の高効率化」「地域冷暖房の導入」「工場未利用排熱のオフライン輸送」の3つを設定し、前節で作成した2つの将来エネルギー需要モデルに対してそれぞれのエネルギー施策を展開した場合の環境負荷低減効果を評価・検討する。なお、3パターンのエネルギー施策は、それぞれ個別の条件下で検討するものであり、各施策間の優劣関係を評価することを目的とするものではないことに留意されたい。また、ここでの検討においては、エネルギー施策の環境負荷低減効果のみを評価・検討することに留まり、事業性については考慮することができていない。よって現実の施策提案としては多分に限界のある分析・評価であることに予め留意が必要である。

#### 5-3-1 建物内個別熱源の高効率化

##### (1) エネルギー施策の概要

このエネルギー施策は、現行の熱・電力供給システム（発電所からの電力供給+建物内の設置された熱源機器による熱供給）をベースとして、区内に存在するすべての個別建物内の熱源設備の高効率化を図るケースであり、現在の区が講じている対策の発展型の施策として考えられる。

機器の効率水準の向上度合いとして、現在のトップランナー水準のレベルのものが導入されると設定した。各個別熱源機器（高効率水準）の機器効率を表5-3-1に示す。なお、各機器の部分負荷特性、搬送動力等は考慮していない。

表 5-3-1 機器効率、換算係数等(トップランナー基準) 単位:倍

| 機器等(略称)           | 効率、COP 等      |
|-------------------|---------------|
| 家庭用パッケージエアコン(AHH) | 冷房:6.3、暖房:6.3 |
| ビル用マルチエアコン(AHM)   | 冷房:3.2、暖房:3.9 |
| ターボ冷凍機(ETR)       | 冷房:6.3        |
| ボイラー(BR)          | 暖房・給湯:1.1     |
| 直焚式吸収冷温水器(AR)     | 冷房:1.3、暖房:1.0 |

表 5-2-4 機器効率、換算係数等(現状の水準)(再掲) 単位:倍

| 機器等(略称)           | 効率、COP 等      |
|-------------------|---------------|
| 家庭用パッケージエアコン(AHH) | 冷房:5.0、暖房:    |
| ビル用マルチエアコン(AHM)   | 冷房:2.6、暖房:    |
| ターボ冷凍機(ETR)       | 冷房:5.0、暖房:    |
| ボイラー(BR)          | 暖房・給湯:0.9     |
| 直焚式吸収冷温水器(AR)     | 冷房:1.1、暖房:0.8 |

## (2) エネルギー施策の展開による環境負荷低減効果

建物内個別熱源の高効率化による CO<sub>2</sub> 削減効果を表 5-3-2 に示す。この施策では①何も対策を施さない場合と比べて約 5%の CO<sub>2</sub> 排出削減を図ることが可能となる。建物内個別熱源機器の高効率化を区内の建物全てに対して行うためには、機器の入替え時や建物の建替え時にトップランナー機器の導入を義務付け、低炭素化を担保することが必要である。これには建築確認申請と連動した仕組みの構築を図ることが有効と考える。

表 5-3-2 エネルギー施策展開時の CO<sub>2</sub> 排出量 単位:万 t-CO<sub>2</sub>

| 延床面積変化シナリオ    | エネルギー施策展開シナリオ |                   |
|---------------|---------------|-------------------|
|               | ①対策なし         | ②建物内個別熱源システムの高効率化 |
| 延床面積 BAU – 維持 | 183           | 174               |
| 延床面積 BAU – 増加 | 222           | 211               |

### 5-3-2 地域冷暖房の導入

#### (1) エネルギー施策の概要

この施策は、個別熱源機器からの熱供給にかわって、各町丁目に地域冷暖房の熱源プラントを設置、地域内へ熱供給を行なうための導管敷設を行い、地区内の全熱需要（暖房、給湯、冷房）に対して熱源プラントから一元的に熱供給を図るケースである。すなわち、千代田区では現状 11 箇所の既設地域冷暖房区域が存在するが、これが将来的に区内全域（皇居以外）で展開されると仮定した施策である。

地域冷暖房の熱源プラントシステムには、①全ガス方式、②全電気方式、③ガス・電気併用方式、の 3 つが存在する<sup>1</sup>。本章の検討では、このうち①と②の 2 つを検討する。地域冷暖房の熱供給条件として、部分負荷効率、台数分割、送熱時の熱損失は考慮しない。また、プラントから供給した熱は需要側で 100%使い切ると仮定する。なお、本章のエネルギー需要モデルでは時刻別・月別・季節別の需要変動を考慮していないことに留意が必要である。

①と②それぞれのエネルギー供給モデルを図 5-3-1、熱供給プラントの機器効率を表 5-3-3, 5-3-2 に示す。

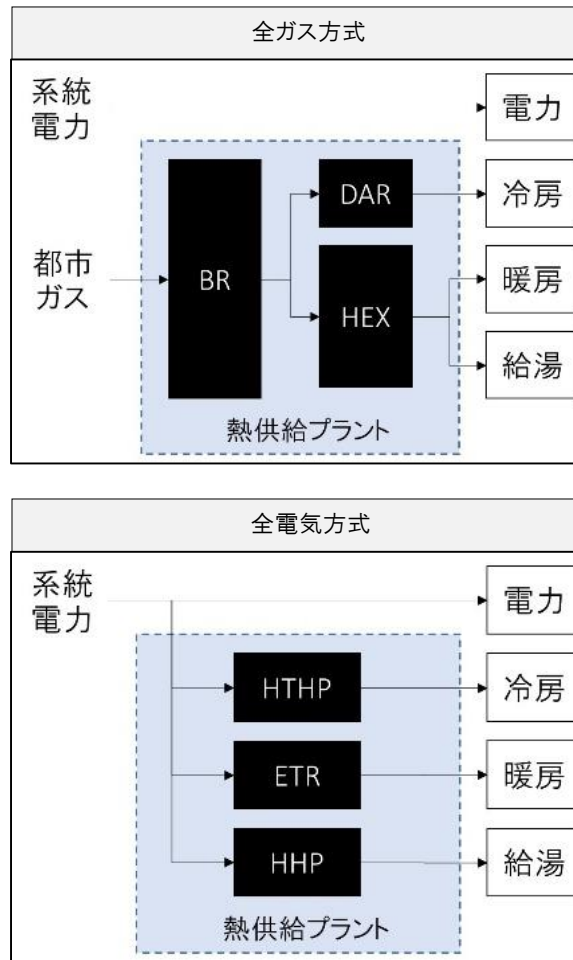


図 5-3-1 地域冷暖房システムのプラント構成

表 5-3-1 熱供給プラントの機器効率 単位:倍

| 機器等(略称)               | 機器効率、COP 等 |
|-----------------------|------------|
| 蒸気吸収式冷凍機(DAR)         | 冷房:1.6     |
| ヒーティングタワーヒートポンプ(HTHP) | 暖房:5.4     |
| 給湯ヒートポンプ(HHP)         | 給湯:3.8     |
| ターボ冷凍機(TR)            | 冷房:6.3     |
| ボイラー(BR)              | 暖房・給湯:1.0  |
| 全熱交換器(HEX)            | 暖房・給湯:1.0  |

資料:地域冷暖房協会(2004)「地域冷暖房技術手引書」

表 5-3-2 エネルギー源の係数等

| エネルギー源    | 各種係数   |
|-----------|--|
| 系統電力:火力平均 | 3.6MJ/kWh, 0.339kg-CO <sub>2</sub> /kWh                          |
| 都市ガス:13A  | 46.05MJ/m <sup>3</sup> , 2.195kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> |

資料:環境省 HP「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度」

<http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc>

## (2) エネルギー施策の展開による環境負荷低減効果

区内全域への地域冷暖房導入による CO<sub>2</sub>削減効果を表 5-3-3 に示す。この施策では、何も対策を施さない場合と比べて、全ガス方式では約 6%、全電気方式では約 11%の CO<sub>2</sub>排出削減が期待できる結果となった。ただし、今回の条件設定に用いた機器効率の値は 10 年前の文献に基づく数値であること、一般的な熱供給プラントの機器構成を参考にした簡易的なモデル計算による結果であること等に十分留意する必要がある。また、エネルギーセキュリティの観点からは、今回検討対象として含めなかった電気・ガスの併用方式が望ましいと考えられる。これらの課題点について、エネルギー供給モデルの大幅な見直しが必要である。同時に、インフラ整備の観点からは、個別建替の際に地域冷暖房への接続を義務付け、常に COP の高いプラントを順次導入していくことが必要となる。

表 5-3-3 エネルギー施策展開時の CO<sub>2</sub> 排出量 単位:万 t-CO<sub>2</sub>

| 延床面積変化シナリオ    | エネルギー施策展開シナリオ |           |         |
|---------------|---------------|-----------|---------|
|               | ①対策なし         | ②地域冷暖房の導入 |         |
|               |               | a 全ガス方式   | b 全電気方式 |
| 延床面積 BAU - 維持 | 183           | 172       | 163     |
| 延床面積 BAU - 増加 | 222           | 209       | 197     |

### 5-3-3 未利用排熱のオフライン輸送

#### (1) エネルギー施策の概要

この施策は、前項で設定した区内全域（皇居以外）での「地域冷暖房の導入」の更なる発展形として、千代田区周辺に存在する工場等の未利用排熱を PCM コンテナに化学蓄熱し、トラック輸送により地域冷暖房の熱源プラントまでオフライン輸送、地域冷暖房の熱源として活用するケースである。

排熱利用は蓄熱技術の難しさから、主として工場等に隣接した温浴施設などに代表される顕熱蓄熱利用等による一定程度の活用に留まっている現状にあるが、化学蓄熱・ケミカルヒートポンプといった次世代エネルギーリサイクル有効利用技術の活用による排熱のさらなる活用が期待されている。しかし、化学蓄熱技術により未利用熱、排熱を回収し、ケミカルヒートポンプにより熱の改質を図り、利用できる熱として再利用を行う次世代エネルギー技術システムの導入を、今後の都市開発に取り入れていくかは明確な指針が得られていない。そこで、ここでは次世代エネルギーシステムが今後のサステナブルな都市づくりの実現にいかにか寄与するかを明らかにするための考察として、仮に千代田区での技術導入が図られた場合の効果を検討する。

なお、ここで PCM コンテナの輸送については、全ての道路でオフライン輸送が可能と仮定し、道路幅員は考慮しないものとする。

## ① 詳細条件の設定

### (i) 千代田区の活用可能な未利用排熱量

潜熱蓄熱材（Phase Change Material：PCM）によるヒートコンテナ（表 5-3-4）の最大輸送可能距離は、文献<sup>2</sup>を参考に 20km と仮定する。千代田区の中心から 20km 圏内に存在する工場等の未利用排熱源の賦存量は、約 60,000TJ 存在している状況にある（表 3-3-6）。ここでは、この未利用排熱の全量を、千代田区が独占的に使用可能な状況にあると仮定する。

表 5-3-4 PCM コンテナの条件設定

| 項目             | 条件        |
|----------------|-----------|
| 蓄熱材            | 酢酸ナトリウム   |
| 蓄熱容量           | 2.0 MWh/台 |
| 蓄熱後の時間経過による熱損失 | 考慮しない     |

資料：環境パートナーシップ CLUB・EPOC（2008）「熱輸送ネットワークによる低温排熱の地域内利用研究」報告書

表 5-3-5 千代田区中心から 20km 圏内の未利用排熱賦存量

| 距離(km) | 未利用排熱賦存量(TJ)* |
|--------|---------------|
| 0-10   | 17,463        |
| 0-20   | 60,266        |

資料：日本環境技研(2006)「平成 18 年度未利用熱エネルギー面的活用熱供給適地促進事業報告書」  
※上記報告書のデータには排熱温度の情報が付加されていないため、120°Cと設定した

### (ii) 未利用排熱により賄う千代田区の熱需要量

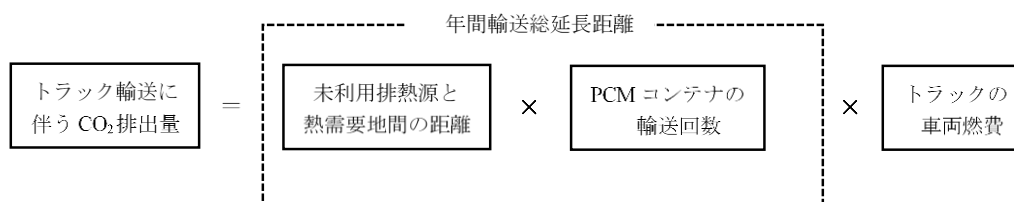
一方、千代田区全域の総熱需要量（冷房、暖房、給湯の合計）は、4-2 より「延床面積 BAU - 維持」：12,443TJ、「延床面積 BAU - 増加」：15,061TJ であり、千代田区の熱需要量に対して十分な未利用排熱が賦存している状況にある（表 5-3-6）。そこで、ここでは千代田区の総熱需要量の全量を未利用排熱の活用により賄うことを考える。

表 5-3-6 千代田区の総熱需要量

| 延床面積変化シナリオ    | 総熱需要量(TJ) |
|---------------|-----------|
| 延床面積 BAU - 維持 | 12,443    |
| 延床面積 BAU - 変化 | 15,061    |

### (iii) 熱輸送時に係るトラックの CO<sub>2</sub> 排出量

熱輸送時に係るトラックの CO<sub>2</sub> 排出量は、未利用排熱源と熱需要地間の距離に PCM コンテナの輸送回数を乗じて求める。



まず、未利用排熱源と熱需要地間の距離を算出する。熱輸送時におけるヒートコンテナからの熱損失はないものと仮定した場合、千代田区の総熱需要量を賄うためには、千代田区中心から10km圏内に存在する未利用排熱を活用することで対応できる(表 5-3-5, 5-3-6)。現実的な検討においては、各町丁目の熱源プラントから最も近い未利用排熱源との道路距離を算出し、トラックの入行可能な道路の抽出や時間帯別の道路混雑場状況を考慮する必要があるものの、ここでは基礎的検討として直線距離を用いることとする。千代田区中心点と10km圏内に存在する69箇所の未利用排熱源(図 5-3-2)との直線距離を算出し、この平均値を各町丁目共通の輸送距離として設定する。この条件で求めた未利用排熱源と熱需要地間の片道距離は、7.7 kmとなる。

次に、PCMコンテナの年間輸送回数を設定する。輸送回数は、各町丁目の総熱需要量をPCMコンテナ1台分の蓄熱容量(2.0MWh/台)で除して求める。この方法で求めたコンテナ輸送回数は、区内で熱需要量が最も多い紀尾井町で年間約77,000回、最も熱需要量が少ない神田花岡町では年間77回と算出された。

最後に、輸送距離と輸送回数を乗じて得た年間輸送総延長距離に、トラックの車両燃費と軽油のCO<sub>2</sub>排出係数(表 5-3-7)を乗じることで、トラック輸送に伴うCO<sub>2</sub>排出量を算出する。

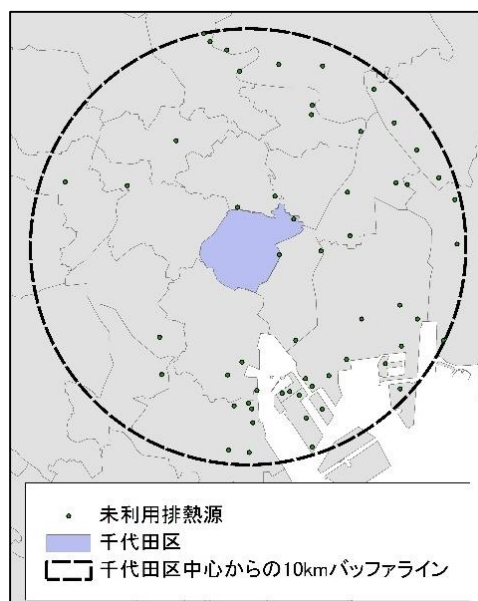


図 5-3-2 千代田区から10km圏内に存在する未利用排熱源

表 5-3-7 トラック輸送時の条件

| 項目                      | 条件        |
|-------------------------|-----------|
| 輸送距離(片道)                | 7.7 km    |
| 車両燃費                    | 12.6 GJ/台 |
| CO <sub>2</sub> 排出係数:軽油 | 2.5 L/km  |

資料:環境パートナーシップ CLUB・EPOC(2008)「熱輸送ネットワークによる低温排熱の地域内利用研究」報告書



(iv) 地域冷暖房の熱供給プラント構成

未利用排熱オフライン輸送における地域冷暖房システムの熱供給プラント構成を図 5-3-3、機器効率等を表 5-3-8 に示す。排熱源から運ばれてきた PCM コンテナに蓄熱された 200℃の熱を、プラント内の蓄熱槽に移し替え、熱需要に応じて蓄熱槽から蒸気吸収式冷凍機、全熱交換器へ放熱して熱需要に対応することを想定する。ここで、現実的な検討を行う上では、PCM コンテナから蓄熱槽への放熱時、蓄熱槽での蓄熱期間、蓄熱槽から熱交換器等への放熱時について熱損失を考慮する必要があるものの、本検討においてはこれらの熱損失はないものと仮定する。また、熱供給プラントから送り出された温熱・冷熱は、需要側において 100%使い切るものと仮定し、地域熱供給時の送熱損失に関しても未考慮とする。よって今回の設定条件下で算出される CO2 排出量の低減効果は、現実的な数値と比べてかなり高めになることが考えられる。

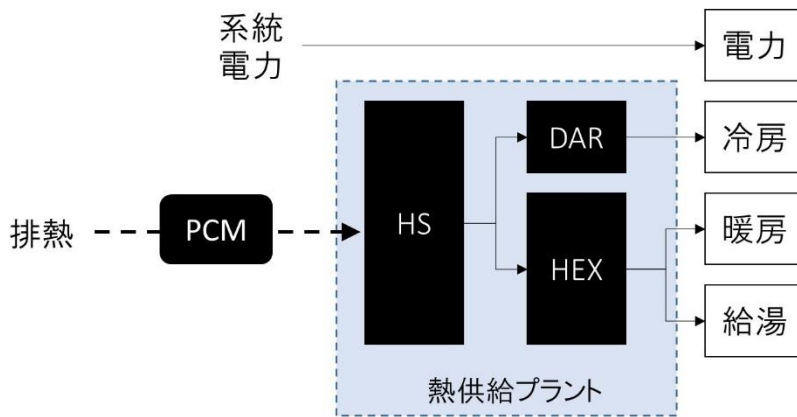


図 5-3-3 地域冷暖房システムのプラント構成：排熱オフライン用

表 5-3-8 熱供給プラントの機器効率(排熱オフライン輸送用) 単位：倍

|               | 効率、COP 等             |
|---------------|----------------------|
| 蒸気吸収式冷凍機(DAR) | 冷房：1.6               |
| 全熱交換器(HEX)    | 暖房・給湯：1.0            |
| 蓄熱槽(HS)       | 蓄熱期間および放熱時の熱損失は考慮しない |

資料：地域冷暖房協会(2004)「地域冷暖房技術手引書」

## (2) エネルギー施策の展開による環境負荷低減効果

工場未利用排熱のオフライン輸送による CO<sub>2</sub> 削減効果を表 5-3-9 に示す。今回設定した条件下においては、何も対策を施さない場合と比べて約 17%の CO<sub>2</sub> 削減効果が得られることがわかった。ただし、前述したように、本検討においては多分に理想的な条件設定を行ったため、現実的に得られる削減効果は 17%を大きく下回ると考えられる。

仮に千代田区の全域において工場未利用排熱のオフライン輸送を検討する場合、地域冷暖房の整備に加え、常時安定的な排熱源の存在・利用の確保とさらなる技術革新によるケミカル蓄熱等の次世代型エネルギー輸送技術の開発、また必要排熱輸送のためのトラックが道路交通混雑を引き起こすことへの対処とトラック駐車空間の整備などが求められる。これらのことを勘案すると、実際にはトップランナー地区の一部で導入を検討することが現実的な想定と考えられる。

表 5-3-9 エネルギー施策展開時の CO<sub>2</sub> 排出量 単位:万 t-CO<sub>2</sub>

| 延床面積変化シナリオ    | エネルギー施策展開シナリオ |                   |
|---------------|---------------|-------------------|
|               | ① 対策なし        | ② 工場未利用排熱のオフライン輸送 |
| 延床面積 BAU - 維持 | 183           | 152               |
| 延床面積 BAU - 増加 | 222           | 185               |

### 【補注】

- 1 日本環境技研株式会社(2007)「平成 18 年度未利用エネルギー面的活用熱供給促進調査等事業報告書」, 経済産業省委託事業
- 2 環境パートナーシップ CLUB・EPOC (2008)「熱輸送ネットワークによる低温排熱の地域内利用研究」結果報告書

## 5-4 まとめ

第5章を通して明らかになった点を以下にまとめる。

- ①4章1節の分析において、区内のほぼ全域が「エネルギー面的利用」の期待地として評価された千代田区の現行低炭素施策は、他の一般的な都市と同じく建物単位の取組を中心として展開されている状況にあった。一方、千代田区では今後も建物延床面積の増加により排出量が増加する可能性があり、その増加分に対しての排出削減施策までは考えられていないことを明らかにした。
- ②千代田区で今後展開が期待されるエネルギー施策として「建物内個別熱源機器の高効率化」「地域冷暖房の導入」「工場未利用排熱のオフライン輸送」の3つを想定し、それぞれの施策が仮に実現した場合の環境負荷低減効果を評価した。エネルギーシステムは日進月歩の勢いで新たな技術システムが作られる。低炭素型都市づくりの実現では、開発段階でもっとも適切なシステムの選択、導入を行うことと、新たな技術システムが創出された際にその受け入れを可能にするための、既設システムを変更しやすい形で空間管理していくことが求められる。そのためには、技術者との連動で、都市開発で実現化可能性の高い技術を見据えて開発を進めて行くことが求められる。

## ■結論

本研究は、低炭素型都市づくりのための、都市計画とエネルギー政策の連携方法を明らかにすることを目的として、①エネルギー面的利用に係る施策を具体化していくための取組み方法、②多様なエネルギー政策の展開を可能とする市街地空間整備のあり方、③地域エネルギーシステムの構築に対応するための土地利用規制という3点を中心に分析を進めた。

最後に、研究を通して得られた知見を総括し、今後の低炭素都市形成に向けた都市計画とエネルギー政策の連携のあり方を提示することで、本研究の結論とする。

### (1) 概括

本研究は、序論、5章構成の本論、結論の構成である。

まず、本論は、第1章で、日本の各都市における民生部門CO<sub>2</sub>排出量の実際とエネルギー面的利用に係る施策化状況を明らかにし、第2章では、大都市の都市内エネルギー需要分布の状況を町丁目単位で推定し、エネルギー面的利用の期待地区が現状どこにどの程度存在するのかを明らかにした。第3章では、地方都市におけるエネルギー面的利用の実現方策に関する検討として、福岡市を対象に地域冷暖房の導入と公共空間の活用に着目した分析を行った。第4章では、地域エネルギーシステムの導入・運用において土地利用構成の空間的・時間的变化が及ぼす影響について、東京特別区を対象とした分析から明らかにした。第5章では、東京都心における都市エネルギー政策の複数代替案評価を行い、各施策の適用に際して求められる都市計画的対応について、千代田区を対象とした分析から明らかにした。

以下、各章で議論した内容を概括する。

第1章は、日本の各都市における民生部門CO<sub>2</sub>排出量の実際とエネルギー面的利用に係る施策化状況を明らかにすることを目的として、まずエネルギー面的利用の取組が特に求められる地域を、市町村別の民生部門CO<sub>2</sub>排出状況の都市規模別比較を通じて整理した。民生家庭部門では約5割、民生業務部門では約6割が大都市（政令市、中核市、特例市および特別区）からの排出量が占めていた。このうち政令市が占める割合がそれぞれ2割に達する状況にあった。また、各部門別の排出量伸び率をそれぞれの都市群別に分析した結果、中核市、特例市、その市町村の伸び率は各部門とも横ばいまたは低下の傾向にある一方で、政令市の民生家庭・業務部門、特別区の民生業務部門の伸び率は近年大きく上昇傾向にあった。

この結果を受けて、政令市、特別区におけるエネルギー面的利用の施策化状況をみるため、行政計画や条例、要綱の分析を行った。現在の大都市における「エネルギー面的利用」に係る施策

の取組は、計画面においてある程度の検討が行われている状況にあるものの、より具体的な取組へと進展させていくために必要な対策地域の指定や、開発事業をエネルギー面的利用と調和したものへ誘導する仕組みを講じているところは、一部の限られた都市しかない状況にあった。多くの都市で具体的なエネルギー面的利用の検討が進んでいない一要因として、都市内のエネルギー需要の状況が把握されていないことが考えられた。

第2章は、大都市の都市内エネルギー需要分布の状況を町丁目単位で推定し、エネルギー面的利用の期待地区が現状どこにどの程度存在するのかを明らかにすることを目的とした。1章の分析を経て得られた考察として、CO<sub>2</sub>排出削減の必要性が高い大都市で、「エネルギー面的利用」の具体的な施策検討が進んでいない要因の一つに、都市内のエネルギー需要が把握されていないことが考えられた。この仮説を確かめるため、国土交通省の低炭素都市づくりガイドラインの中で示されている建物延床面積、エネルギー負荷・CO<sub>2</sub>排出原単位のデータを用いて都市内のエネルギー需要を把握可能な都市がどれだけあるかを整理した結果、いずれも地域別のデータ整備が不足しており、各都市の地域特性が反映されたエネルギー需要を把握することが困難な現状にあることを明らかにした。

そこで、様々な既存統計や調査データを組み合わせて、仮想的な「エネルギー面的利用」の期待地区を抽出した。この分析においては、東京特別区や大阪市のほか、川崎市や福岡市等の地方都市においても、比較的多くの「エネルギー面的利用」期待地区が存在している状況にあることを明らかにした。

第3章は、地方都市におけるエネルギー面的利用の実現方策に関する検討として、福岡市を対象に地域冷暖房の導入と公共空間の活用の可能性を考察することを目的とした。福岡市のケーススタディから得られた、公共施設・用地の利活用による約20,000t-CO<sub>2</sub>の削減効果は、他の政令指定都市においても同様の効果が期待できると考えられる。福岡市と似た排出構造をもつ札幌市や京都市での検討が特に有用であろう。また今回、政策体系の見直し時期に差し掛かっていたことから福岡市の掲げるCO<sub>2</sub>削減目標、再エネ導入目標との比較を行うことは叶わなかったものの、こうした目標に対してどの程度の貢献を果たす施策かを今後明らかにしていくことの必要性が考えられた。また、CO<sub>2</sub>排出量削減を実現化していくためには、都市づくりにおいてCO<sub>2</sub>排出量削減を実現することがどれほど優先順位の高いものか明らかにする必要がある。それは、低炭素型市街地形成は環境・エネルギーサイドだけで出来るものではなく、分野を超えた連携の必要性が高いためであり、環境サイドだけのアプローチでは建物単体での対応を行うケースが多く、より削減効果の大きな面的エネルギーを考えるためには両者の連動が必要であることが指摘できた。

第4章は、地域エネルギーシステムの導入・運用において土地利用構成の空間的・時間的变化が及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。現在の都市づくりでは、エネルギーは都市活動

を支えるシステムとして存在している。本研究のシミュレーションを通して、1時点での建物用途、床面積から算出される熱負荷密度とそれに適したエネルギーシステムの検討は可能である。しかしながら、我が国は5年間で用途と建物床の構成が大きく変化し、エネルギーシステムが最適に稼働する形を維持し続けるのは難しい。これに対処するための都市計画側の対応策としては、土地利用規制の詳細化を図り、不確実な市街地の挙動を計画的視点のもとにコントロールしていくことが有効と考えられた。また、地域熱供給のような従来の地域エネルギー供給においては、導入システムと導入地域のエネルギー需要特性を考慮することでエネルギー有効利用が可能であった。これを一歩進め、自前の設備と周囲の分散型のエネルギー源との連携、各プラントの性能、更新時期などの情報を入れた上でのエネルギーマネジメントを行うことが考えられる。

第5章は、東京都心における都市エネルギー政策の複数代替案評価を行い、各施策の適用に際して求められる都市計画的対応を明らかにすることを目的とした。4章1節の分析において、区内のほぼ全域が「エネルギー面的利用」の期待地として評価された千代田区の現行低炭素施策は、他の一般的な都市と同じく建物単位の取組を中心として展開されている状況にあった。一方、千代田区では今後も建物延床面積の増加により排出量が増加する可能性があり、その増加分に対しての排出削減施策までは考えられていないことを明らかにした。

この状況を受けて、千代田区で今後展開が期待されるエネルギー施策として「建物内個別熱源機器の効率化」「地域冷暖房の導入」「工場未利用排熱のオフライン輸送」の3つを想定し、それぞれの施策が仮に実現した場合の環境負荷低減効果を評価した。低炭素型都市づくりの実現では、開発段階でもっとも適切なシステムの選択、導入を行うことと、新たな技術システムが創出された際にその受け入れを可能にするための、既設システムを変更しやすい形で空間管理していくことが求められる。そのためには、技術者との連動で、都市開発で実現化可能性の高い技術を見据えて開発を進めて行くことが求められることを示唆した。

## (2) 結論

本研究は、都市計画とエネルギー政策の連携を通じた低炭素都市づくりのあり方を広範に渡って分析した。この内容は大きくは、

- ①エネルギー面的利用に係る施策を具体化していくための取組み方法
- ②地域エネルギーシステムの構築に対応するための土地利用規制
- ③多様なエネルギー政策の展開を可能とする市街地空間整備のあり方

の3点である。

第一のエネルギー面的利用に係る施策を具体化していくための取組み方法については、第1章と第2章を通じて明らかにした。

エネルギー面的利用に係る施策を具体化していくためには、①具体の対策実施地域の指定と、②当地の市街地環境をエネルギー面的利用に資する形態へ整備していくための開発指導が求められる。

①については、本研究の2章で提示した、町丁目レベルのエネルギー需要の推定方法を活用することで、エネルギー面的利用の具体の対策実施地域を選定することが可能となる。これにより選定した対策実施地域を、地球温暖化対策地方公共団体実行計画や都市計画マスタープランへ記載し、両計画の連動のもとに事業の周知・公表を図ることにより、エネルギー面的利用の取組みの具体化を進める第一歩になると考える。ただし本研究の2章で提示した方法では、町丁目内の詳細な空間情報まで考慮することができていない。より具体的な検討を行う上では、本研究で示した既存の地域統計を活用して各地区のエネルギー消費状況を大まかにでも把握する作業を進めるとともに、都市計画基礎調査の充実化と建物用途別のエネルギー消費データの調査・蓄積を図っていくことが必要である。

②については、①で選定した対策実施地域内で行われる建築・開発事業に対して、建築物の空調・給湯方式を、将来的な地域熱供給の受入に対応可能な中央熱源方式へ容易に転換可能な設計仕様とする仕組みの構築が考えられる。東京都などで行われている現状のエネルギー面的利用の推進制度は、建築物の熱源方式に関して特段の規定を設けておらず、多くの建築物は個別熱源方式を採用した設計仕様となっている。個別熱源方式の建築物を中央熱源方式へ転換するためには多くの場合建替えが必要となり、時宜に応じた地域熱供給への接続を図る上での阻害要因となる。また、建築物の長寿命化が進むことで、今後は建替え時の接続検討機会そのものが減少していくと考えられる。このことから、エネルギー面的利用を早期に実現させるためには、今後見込まれる建築物の大量更新機会を逸することなく、設備仕様を柔軟に変更可能な建築物とするための建築・開発指導が求められる。

第二の地域エネルギーシステムの構築に対応するための土地利用規制については、第4章の分析を通じて明らかにした。

現在の都市づくりでは、エネルギーは都市活動を支えるシステムとして存在している。本研究のシミュレーションを通して、1時点での建物用途、床面積から算出される熱負荷密度とそれに適したエネルギーシステムの検討は可能であることを明らかにした。しかしながら、我が国は5年間で用途と建物床の構成が大きく変化し、エネルギーシステムが最適に稼働する形を維持し続けるのは難しい。仮に特定地域でゼロ・カーボンなどの目標設定が存在し、低炭素型都市づくりにプライオリティが与えられている場合、都市インフラとしてのエネルギーシステムが最適に稼働する形を考慮した、用途・容積を誘導する仕組み、またはCEMSなどとの連動から、必要とされる用途を明確化し、誘導することが考えられる。

地域エネルギーシステムの構築は、対象とする地区のエネルギー需要特性とエネルギー供給システム特性の双方をマッチングさせることが必要である。現行の土地利用規制制度は、建物用途規制に関して望ましくない用途を排除する「限定禁止列举型」、形態規制に関して最大ボリューム値の範囲内であればいかなる形態も許容する「鳥かご型」を原則として運用されている。こうした規制のもとで将来の具体的な土地利用・空間構造を確実視することは不可能であり、そのことが地域エネルギーシステムの計画的な導入・運用を図る際の課題となっている。この課題を解消するためには、現行の土地利用規制制度を、地域のあるべき建物用途・形態を具体的な指定基準で定め、一定の範囲で指定基準と異なる用途・形態を許容する仕組みへと抜本的に転換することが求められる。具体的な制度転換のあり方に踏み込んだ分析を行うことが、今後の課題である。

第三の多様なエネルギー政策の展開を可能とする市街地空間整備のあり方については、第5章の分析を通じて明らかにした。

面的エネルギー利用の技術導入を計画する場合、地域のエネルギー需要特性や土地利用条件の違いによる導入可能性、対策効果に違いの生じることから、目標市街地像とそれに伴うエネルギーシステムの整備手法を、マスタープラン等に一元的に整理し、実現の担保手段を構築することが必要である。現時点では、地域冷暖房への接続等の義務付けは、開発協議を通じて実現されることが一般的であるため、既設施設の有効利用の観点では、低炭素地区などの新たな仕組みを構築し、開発事業と連動したうえで、接続していくことが求められる。

エネルギーシステムは日進月歩の勢いで新たな技術システムが作られる。低炭素型都市づくりの実現では、開発段階でもっとも適切なシステムの選択、導入を行うことと、新たな技術システムが創出された際にその受け入れを可能にするための、既設システムを変更しやすい形で空間管理していくことが求められる。そのためには、技術者との連動で、都市開発で実現化可能性の高い技術を見据えて開発を進めて行くことが求められる。

本研究の成果が、我が国の大都市における低炭素都市づくりの一助となれば幸いである。



## ■参考文献リスト

### ■序論 参考文献

- 1 下田吉之、水野稔（2006）「地区を基本単位とした都市エネルギー需要のモデル化と将来シナリオに関する研究」日本都市計画学会都市計画論文集, No.41-3, pp.833-838.
- 2 加藤聖（2011）「地球温暖化防止に関する政策動向」『電気設備学会誌』 vol.31No.8, p.597.
- 3 河上裕美, 花木啓祐, 荒巻俊也（2008）「地理情報を利用した清掃工場排熱利用の地域冷暖房導入による CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの推定」, 第 24 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
- 4 環境省（2008）「京都議定書目標達成計画」, pp.26-28.
- 5 環境省 HP(2008)「2050 日本低炭素社会シナリオ：温室効果ガス 70%削減可能性検討(2008 年 6 月改訂版)」報告書
- 6 国土交通省都市地域整備局（2010）「低炭素都市づくりガイドライン」, p.I-10
- 7 国土交通省都市地域整備局（2010 年 8 月）「低炭素都市づくりガイドライン」, p.I-5
- 8 佐土原聡（1998）「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研究」, 日本建築学会計画論文集, No.510, pp.61-67.
- 9 小倉裕直, 岡野聡史（2006）「次世代技術導入によるエネルギーサステナブルな地域開発に関する研究-廃熱のオフライン化学蓄熱輸送利用に向けて-」, 都市計画論文集, Vol.41, No.3, pp.821-826.
- 10 小林光(2011)「低炭素都市に向けた環境省の取り組み、そして若干の個人的考察と提案」『地域開発』 556, pp.4-5.
- 11 松橋啓介（2000）「大都市圏の地域別トリップ・エネルギーから見たコンパクト・シティに関する考察」, 日本都市計画学会都市計画論文集, No.35, pp.469-474.
- 12 森本章倫, 古池弘隆（1995）「都市構造が運輸エネルギーに及ぼす影響に関する研究」, 日本都市計画学会都市計画論文集, No.30, pp.685-690.
- 13 曹鳴鳳, 尾島俊雄（2002）「東京都心部における地域冷暖房の稼働実態調査研究」日本建築学会環境計論文集, No.620, pp.75-81.
- 14 村木美貴, 小倉裕直（2005）「イングランドの都市計画における再生可能エネルギー政策とその実現性に関する研究」, 日本都市計画学会学術研究論文発表会論文, No.40-3, pp.25-30
- 15 大島敦仁, 大西隆, 城所哲夫, 瀬田史彦, 中野康子（1999）「市街地におけるコージェネレーションシステムの導入可能性についての検討」, 日本都市計画学会都市計画論文集, No.34, pp.103-108.
- 16 地球温暖化対策推進本部（2011）『京都議定書目標達成計画の進捗状況』, pp.5, 24-53.
- 17 池上貴志, 荒巻俊也, 花木啓祐（2008）「東京都区部における下水熱利用地域冷暖房システム導入による二酸化炭素排出削減ポテンシャルの推計」, 土木学会第 63 回年次学術講演会
- 18 中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会（2010）「別添 4.5 地域づくり WG」『中長期の温室効果ガス削減目標を実現するための対策・施策の具体的な姿（中長期ロードマップ）（中間整

- 理)』,pp.212-213.
- 19 中口毅博(2004)市町村レベル自治体における温暖化対策立案のあり方.資源環境対策,40(4),p30-38.
  - 20 中口毅博(2008)地球温暖化防止における自治体の役割と地球温暖化防止条例.自治体法務研究, 11, p24-30.
  - 21 中口毅博(2009)「自治体温暖化政策の実施状況の定量的分析—実施率の変化および CO<sub>2</sub> 排出量との関係の分析—」,日本公共政策学会 2009 年研究大会報告論文集,p350-357.
  - 22 田頭直人 (2002)「エネルギー削減を目指した地域の空間構造とその効果に関する分析—地域冷暖房と太陽光発電システムを導入した場合—」,日本都市計画学会都市計画論文集,No.35,pp.469-474.
  - 23 馬場健司 (2008)「地方自治体におけるエネルギー政策プロセスに関する研究」,筑波大学システム情報工学研究科博士論文

## ■第1章 参考文献

- 1 エム・アール・アイリサーチアソシエーツ株式会社（2013）平成 24 年度温室効果ガス排出量削減量算定及び目標設定事例調査業務報告書,p1
- 2 横浜市（2011）横浜市地球温暖化対策実行計画（区域施策編）
- 3 京都市（2011）京都市地球温暖化対策計画
- 4 経済産業省（2008）未利用エネルギー面的活用熱供給の実態と次世代に向けた方向性
- 5 広島市（2003）広島市地球温暖化対策地域推進計画
- 6 国土交通省（2010）低炭素都市づくりガイドライン
- 7 佐野浩（2013）都心回帰と都市構造の変容—大阪府を例に一,産開研論集第 25 号
- 8 札幌市（2011）札幌市温暖化対策推進ビジョン
- 9 社団法人日本地域冷暖房協会（1995）「プロジェクト 2010 日本全国地域冷暖房導入可能性調査研究平成 6 年度報告書」
- 10 神戸市（2011）神戸市地球温暖化防止実行計画
- 11 仙台市（2011）仙台市地球温暖化対策推進計画（中間案）
- 12 千葉市（2012）千葉市地球温暖化対策実行計画
- 13 川崎市（2010）川崎市地球温暖化対策推進基本計画
- 14 大阪市（2011）大阪市地球温暖化対策実行計画
- 15 日本政策投資銀行（2012）2015 年の名古屋展望,
- 16 福岡市（1999）福岡市緑の基本計画
- 17 福岡市（2000）福岡市都市交通基本計画
- 18 福岡市（2003）第 3 次福岡市地球温暖化対策地域推進計画
- 19 福岡市（2003）福岡市都市計画マスタープラン
- 20 福岡市（2013）新世代環境都市ビジョン
- 21 福岡市（2013）第九次福岡市総合計画
- 22 北九州市（2006）北九州市地球温暖化対策地域推進計画
- 23 名古屋市（2011）低炭素都市名古屋戦略実行計画

## ■第2章 参考文献

- 1 環境省（2007）地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン（第3版）
- 2 環境省（2009）地球温暖化対策地方公共団体実行計画(区域施策編)策定マニュアル(第1版)
- 3 環境省（2009）地球温暖化対策地方公共団体実行計画(区域施策編)策定マニュアル(第1版)簡易版
- 4 国土交通省（2003）客観的評価指標の定量的評価指標の算出方法について
- 5 国土交通省（2010）建築物ストック統計検討会報告書
- 6 阪田知彦（2009）基礎自治体での都市計画基礎調査の実施状況と課題,日本都市計画学会都市計画報告集 No.8
- 7 資源エネルギー庁（2010）平成21年度エネルギー消費状況調査
- 8 日本エネルギー経済研究所（2009）平成20年度エネルギー消費状況調査（民生部門エネルギー消費実態調査）
- 9 日本自動車会議所（2012）自動車輸送統計年報

### ■第3章 参考文献

- 1 浅井崇志, 山口容平, 下田吉之 (2005) 「既存建物群の更新を考慮した都市業務部門の省エネルギーポテンシャル評価」日本都市計画学会学術研究論文集 No.40, pp.19-24
- 2 荻田正雄 (2008) エクセルで出来る最適化の実践, 同友館
- 3 環境パートナーシップクラブエポック (2008) 熱輸送による低温未利用排熱の地域内利用研究報告書
- 4 環境自治体会議 (2007) 環境自治体白書
- 5 建築設備技術者協会 (2008) 建築設備情報年報
- 6 社団法人日本地域冷暖房協会 (1995) 「プロジェクト 2010 日本全国地域冷暖房導入可能性調査研究平成6年度報告書」
- 7 千代田区 (2009) 千代田区環境モデル都市行動計画
- 8 千代田区 (2003) 千代田区新エネルギービジョン
- 9 地域活性化統合本部会合 (2007) 環境モデル都市提案リスト
- 10 地域冷暖房技術手引書作成小委員会 (2002) 地域冷暖房技術手引書 (改訂新版) 社団法人日本地域冷暖房協会
- 11 東京都都市整備局 HP 「新しい都市づくりのための都市開発諸制度活用方針 (平成 20 年 12 月 22 日改定版)」 [http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/seisaku/new\\_ctiy/index.html](http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/seisaku/new_ctiy/index.html)
- 12 日本環境技研株式会社 (2007) 「平成 18 年度未利用エネルギー面的活用熱供給促進調査等事業報告書」

#### ■第4章 参考文献

- 1 NEDO 燃料電池・水素技術開発部(2010)NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010
- 2 まちづくりと一体となった熱エネルギーの有効利用に関する研究会(2011)まちづくりと一体となった熱エネルギーの有効利用に関する研究会中間とりまとめ
- 3 井熊均(2004)よくわかる分散型エネルギー日刊工業新聞社
- 4 化学工学協会(1998)改訂第5版化学工学便覧丸善
- 5 技術委員会地域冷暖房技術手引書作成小委員会(2002)地域冷暖房技術手引書(改訂新版)社団法人日本地域冷暖房協会
- 6 元アンナ(2006)首都圏大都市域のサステナビリティ実現に向けた地域エネルギーシステムの構築に関する研究横浜国立大学博士論文
- 7 工月良太,村上周三,佐土原聡,市川徹,青笹健,長谷川巖,柳井崇,元アンナ,三井所清史(2008)分散型エネルギーシステムの面的な活用による街区のサステナビリティ向上に関する研究日本建築学会技術報告書第14巻第28号,pp.497-502
- 8 社団法人日本地域冷暖房協会(1995)プロジェクト 2010 日本全国地域冷暖房導入可能性調査研究平成6年度報告書
- 9 森俊介,石田武士,小池祥元,大蔵将史(2009)分散型エネルギーシステムによるCO<sub>2</sub>排出削減効果の地域性評価と広域評価 - GISによるマイクロ評価と広域評価拡張への予備的考察環境科学会誌,290-299 項
- 10 森俊介,石田武士,小池祥元,大蔵将史(2009)分散型エネルギーシステムによるCO<sub>2</sub>排出削減効果の地域性評価と広域評価 - GISによるマイクロ評価と広域評価拡張への予備的考察環境科学会誌,pp.290-299
- 11 森俊介,石田武士,小池祥元,大蔵将史(2009)分散型エネルギーシステムによるCO<sub>2</sub>排出削減効果の地域性評価と広域評価 - GISによるマイクロ評価と広域評価拡張への予備的考察環境科学会誌,pp.290-299
- 12 地域冷暖房技術手引書作成小委員会(2002)地域冷暖房技術手引書(改訂新版)社団法人日本地域冷暖房協会
- 13 辻賢司(2010)固体酸化物形燃料電池(SOFC)の開発と展望(普及版)シーエムシー出版
- 14 田頭直人(2010)コージェネレーションを用いた地域冷暖房のエネルギー削減効果と導入地域の空間構造に関する研究-コストあたりの効果まで考慮して-第36回日本都市計画学会学術研究論文集
- 15 東京都環境審議会(2008)東京都環境審議会第21回企画政策部会資料
- 16 日本建築学会(1980)第2版建築学便覧I計画丸善
- 17 熱物性ハンドブック編集委員会(1990)熱物性ハンドブック養賢堂
- 18 尾島俊雄,佐土原聡(1986)都市における高級処理管路網の設置に関する研究-供給処理業者の側面からの考察-日本建築学会計画系論文報告書第360号,pp.49-56

## 謝辞

本論文をまとめるにあたり、村木美貴教授には9年間の長期に渡って指導教官を引き受けていただき、研究上のあらゆる側面において貴重なご指導を賜りました。論文の全体構想を重視するあまりになかなか筆が進まない私を、常に暖かく見守りながら、折に触れ叱咤激励していただきました。もし、先生の適切で親身なご指導がなければ、本論文が完成することはありませんでした。本当に有難うございます。また村木先生には、低炭素都市づくり研究会や地域冷暖房事業のプラント見学会への参加機会を頂きました。これらの研究会等を通して、諸先生方や実務者の方々からも多くのことを学ぶことができたと思います。

論文審査にあたっては、小林秀樹教授、小倉裕直教授、山崎文雄教授にお世話になりました。3名の先生方からは、研究を行う上での仮定条件設定の妥当性、それを分かりやすく説明することの意義についてご指導頂きました。分野の異なる先生方との議論を通じて、多様な要素から構成される「都市」を計画するという行為の難しさ、分野間連携の重要性を学ばせていただきました。

村木研究室に在籍する期間を通して、研究室のメンバーには様々な面でのアドバイスやご協力を頂きました。共同で調査や研究を行うことを通じて、本論文にも役立った多くの考えを吸収させていただきました。

東京ガス株式会社、株式会社エネルギーアドバンスの方々には、地域冷暖房を中心とする日本のエネルギー面的利用の実情について、大変貴重なご助言を賜りました。特に東京ガスの菊池様、エネルギーアドバンスの田中様には格別の謝意を表したいと思います。

最後に、東京都、札幌市、福岡市をはじめとする関連自治体の方々には、資料貸与やヒアリングにあたり大変お世話になりました。これらの方々のご協力なしには、論文をまとめることができなかったと思います。

以上、多くの方々のご援助によって本研究がまとまりましたことに、深く感謝いたします。

平成 26 年 3 月 石河 正寛