建築・設備ストックの集積状況を考慮した大阪市の民生業務部門 エネルギー需要モデルの開発と温暖化対策の評価

ENERGY MODELING OF THE COMMERCIAL SECTOR OF OSAKA CITY AND EVALUATION OF ENERGY SAVING MEASURES CONSIDERING THE STOCK OF BUILDINGS AND BUILDING SYSTEMS

山口 容平*, 下田 吉之**, 水野 稔***
Yohei YAMAGUCHI, Yoshiyuki SHIMODA and Minoru MIZUNO

This paper describes an energy demand model of the commercial sector of Osaka city. We investigated the distribution of building stock in terms of building size and the utilization of energy saving measures. The modelling methodology is designed to take into account the distribution of building stock and energy saving measures as well as building attributes with a significant influence on the energy consumption. By using the model, we estimated the potential reduction of CO₂ emission that can be gained by disseminating energy saving measures and energy efficient lighting devices and heat source machines in the sector.

Keywords : Commercial sector, Global warming mitigation, Energy Management, Energy Saving Measures, Simulation

民生業務部門, 地球温暖化対策, エネルギー管理, 省エネルギー手法, シミュレーション

1. はじめに

地球温暖化問題等を背景として省エネルギー技術はめざましく進展している。しかし、民生業務の建築ストックにおいては一様に省エネルギー対策が実施されているわけではない。資源エネルギー庁による調査では、中小規模建築においては十分に省エネルギー対策が行われていないことが報告されている¹⁾。一方、後述するように、都市全体の建築ストックを見れば中小規模建築の割合は非常に高い。温暖化対策の推進においては、このような建築ストックおよび省エネルギー対策の現状をふまえたうえで、今後の技術的進展、省エネルギー対策の普及、新規技術の採用によってもたらされる効用を定量的に評価することが重要である。

このような背景から、著者らは建築ストックの集積状況、省エネルギー手法の採用実態を調査するとともに、温暖化対応策の設計支援ツールの開発を目的として、都市のレベルで業務建築ストックにおいて消費されるエネルギー量を定量化するモデル（以下、エネルギー需要モデルとする）を開発してきた。本モデルは建築ストックの集積状況、省エネルギー対策、加えて、熱源システムの採用状況などのエネルギー消費に影響を及ぼす要因の現況をデータベース化し、それらをエネルギー需要の推計値に反映することができる特徴をもつ。本論文では次の3点について報告する。

- ① 東京都区部、多摩・島しょ地域、大阪府大阪市、豊中市、愛知県名古屋市を対象として建築ストックの用途別・規模別の集積

状況を調査し、実存する建築ストックの特徴を明らかにする。

- ② 建築竣工設備データから用途別・規模別に省エネルギー手法の採用状況を整理し、省エネルギー対策の実施状況を把握する。
- ③ 大阪市民生業務部門を対象として開発したエネルギー需要モデルを用いて、エネルギー消費機器の高効率化、省エネルギー手法の推進によってもたらされる二酸化炭素排出削減量を定量化する。

(1) 業務建築ストックの集積状況、省エネルギー手法採用状況

中小規模建築とはどの規模の建築を意味するのか明確な定義はない。仮に1万m²未満の建築を中小規模建築とするならば、中小規模建築は日本の業務建築ストックにおいて非常に大きな割合を占める。小松ら²⁾は東京都千代田区、港区、新宿区、大東区の事務所建築、石田³⁾は日本全国の業務建築ストックを対象として建築の集積状況を調査し、1万m²未満の建築が延床面積の50%以上を占めることを示している。

省エネルギー対策の実施状況については、資源エネルギー庁⁴⁾が体系的な調査を行っている。この調査は、全国の業務建築を対象としてアンケートを行ったもので、規模、業種、地域特性が異なる2136件の建築から回答を得ている。この結果、大規模な建築ほど設備投資を伴う省エネルギー対策（空調、照明関連）が積極的に採用されている傾向があり、中小規模建築では断熱対策をはじめ、各種省エネルギー手法の採用率は低い水準にあることが示されている。

* 大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻
助教・博士(工学)

** 大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻
教授・工博

*** 大阪大学 名誉教授・工博

Assistant Prof., Division of Sustainable Energy and Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.

Prof., Division of Sustainable Energy and Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.

Prof. Emeritus, Osaka University, Dr. Eng.

(2) 省エネルギー対策の評価手法について

建築における省エネルギーの実施によって得られる効果を定量化する方法としてシミュレーションが多く用いられている。シミュレーションの利点として次のものを挙げることができる。

- ・ 建築のエネルギー需要構造を反映し、省エネルギー対策の導入により電力、冷温熱需要などがどのように変化し、最終的にエネルギー消費を変化させるか理解し、定量的に対策導入効果を把握することができる。
- ・ 導入する省エネルギー対策の相互影響を考慮することができる。
- ・ LED 照明や燃料電池などこれまでに数多く利用例がない手法について導入効果を推計することができる。

日本建築設備士協会空気調和設備シミュレーション研究会⁴⁾や滝沢⁵⁾は、標準的な規模や形状、壁の構造、建築設備の構成・仕様を持つ事務所ビルモデル（標準問題とも呼ばれる）を開発した。これをシミュレーションの入力条件として用いることで、他者とのシミュレーション結果の比較が可能になり、シミュレーションの利点を生かしつつ、汎用性の高い知見が得られるようになった。

標準問題とはストックを代表する建物モデルといえるが、実際の都市を見れば多様な建築が存在しており、ひとつの標準問題によって得られた知見をすべての建築に適用可能であるとはいいがたい。このような背景から、分析結果の汎用性を確保するため、図1に示す手順によりエネルギー需要を定量化する方法が開発されている。本研究ではこの方法を建物類型モデルと呼ぶ。

1. 建築ストックの類型化

エネルギー需要に大きな影響をもつ建物属性によって建築ストックを類型化する。

2. 代表建物モデルの設計

各類型を代表する建物モデル(代表建物モデルとする)を設計する。

3. 建物類型別エネルギー需要原単位の定量化

代表建物モデルを入力条件としてシミュレーションを行い、エネルギー需要を定量化する。ここで得られたエネルギー需要を原単位化し、代表建物モデルに対応する建物類型のエネルギー需要原単位とする。

4. 最終エネルギー需要(電力・都市ガス)・二酸化炭素排出量の推計

各建物類型のエネルギー需要原単位と建築ストック床面積をかけ合わせ、各建物類型に含まれる建築ストックによって消費されるエネルギー量を定量化する。得られたエネルギー消費をすべての建物類型について合計し、都市レベルの最終エネルギー消費量として定量化する。また、定量化されたエネルギー需要に燃料種別の二酸化炭素排出係数をかけあわせ、二酸化炭素排出量を定量化する。

図1 建物類型モデルの概要

この方法では、1) 建築のエネルギー需要に大きな影響を及ぼす要素(用途や規模など)で建築ストックを類型化し、2) 建物類型別に類型に含まれる建築ストックを代表する建物モデル(代表建物モデルとする)を作成する。次に、3) 代表建物モデルを入力条件としてシミュレーションを行い、エネルギー需要原単位(業務部門であれば延床面積当たり、住宅部門では世帯当たり)を定量化する。最後に、4) 各建物類型の建築ストックに対して推計されたエネルギー需要原単位をかけあわせ、積算し、対象とする建築ストック全体のエネルギー需要(電力・都市ガス)として定量化する。また、電力、都市ガスの消費量とそれぞれの二酸化炭素排出係数をかけあわせ、二酸化炭素排出量を定量化する。

この方法によって、建築仕様や設備仕様の改善などエンドユースにおける具体的な変化によってもたらされるエネルギー需要の変化を定量的に把握することができ、ストック全体での効果(二酸化炭素排出量の削減など)を定量化することができる⁶⁾⁷⁾。たとえば、Petersdorff⁸⁾はこのモデル化手法を使用して、EU15カ国の住宅ストック、事務所ストックを対象として、気候区分、建築の規模、種類、年代、断熱性能により210の建物モデルを作成し、2006年から施行されたEuropean Directive on the Energy Performance of Buildings (EPBD)の導入効果、加えて、追加的対策(法規制対象の拡大)による効果を定量化している。このほか、多様な応用例がある^{6),7),9)~13)}。

日本の業務建築を対象としたモデルも複数開発されている。柳原¹⁴⁾は、事務所2種(規模で分類)、店舗1種の代表建物モデルを作成し省エネルギー手法の導入効果を定量化している。中野¹⁵⁾は東京の事務所ストックを対象として3つの規模の代表建物モデルを作成し、竹中工務店施工実績から得られた規模別の床面積比率からエネルギー消費量を積み上げ、複数の省エネルギー手法の導入効果を定量化している。いずれの研究も既存のエネルギー需要原単位を用いるのではなく、代表建物モデルを用いたエネルギー需要シミュレーションを行っている特徴がある。岩船¹⁶⁾は東京都の事務所、商業、宿泊、医療建築ストックについて、用途別に2種の代表建物モデル(規模で分類)を作成し、シミュレーションに基づいてエネルギー需要を積み上げている。岩船らのモデル特徴は電源構成モデルと統合していることであり、エンドユースにおける省エネルギー技術の導入が電源構成および系統電源二酸化炭素排出係数に及ぼす影響を考慮して省エネルギー施策の評価を行っている。新谷¹⁶⁾・川久保¹⁷⁾は、全国の事務所建築ストックを対象として規模について3種の代表建物モデルを作成し、二酸化炭素排出量の削減ポテンシャルを定量化している。新谷ら、川久保らの研究の特徴は建築のライフサイクル全体のエネルギー消費、二酸化炭素排出量を算出していることであり、建築ストックの長寿命化などライフサイクルを考慮した温暖化対策の導入効果を定量化することができる。石田¹⁸⁾は業務建築ストック(事務所、店舗、宿泊、医療、学校、その他)を用途別に建築規模7区分、8種の空調熱源システム区分に分類し、少数のパラメータから月別・時刻別の電力、冷暖房、給湯負荷を算出する簡易予測モデル¹⁹⁾に基づいて用途別・規模別・空調熱源システム別のエネルギー消費を定量化し、分類別の建築ストック比率をかけ合わせ、日本全国の業務建築ストックから排出される二酸化炭素排出量を定量化している。石田の特徴は建築仕様、設備仕様の違いによるエネルギー需要の違いを考慮するために建築ストックを多数に類型化している点である。

ここまでシミュレーションモデルを用いてエネルギー需要を推計する研究について述べたが、シミュレーションを使用せず、業務建築の単位床面積当たりの用途別最終需要(冷暖房、給湯、電力など)を設定し、建築ストックの床面積との積によってエネルギー需要、二酸化炭素排出量を推計する方法がある。本手法では、対策の導入効果は各用途別最終需要の減少量や減少率として与えられる。モデル全体の構造はシンプルであり、国家などの広いスケールで、大幅に二酸化炭素排出量を削減するために必要な技術的变化を明らかにする目的で使用するには大変有用な方法である。代表的なものには

外岡ら¹⁹⁾、伊香賀ら²⁰⁾の研究がある。しかし、モデル上で二酸化炭素排出量の削減をもたらす技術的因子の変化を与えるのではなく、削減量（あるいは削減率）を与えることから、その設定に当てはまらないケースがある場合、結果に大きな誤差が生じる可能性がある。たとえば、規模や熱源システムなどの条件によって対策の導入効果が変わる対策や、対策に間接的な影響がある場合（例えば、照明の高効率化は冷熱需要を減少させ、温熱需要を増加させる）や、対策の間に相互作用がある場合には誤差が生じると考えられる。これに対して、シミュレーションによってエネルギー需要を推計する場合、これらの点を考慮して結果を得ることができる。また、新しい行動様式（SOHO 化の進展）が将来普及する状況など、用途別最終需要が大きく変わるような状況を想定した予測も可能であり、応用範囲も広い。ただし、シミュレーションによる方法は大量のデータを必要とする。精度を向上し、機能を拡張するためには多様なデータベースと、実態を反映したエネルギー需要のシミュレーションモデルが不可欠である。

本研究ではこれまでに蓄積されてきたモデル化手法に関する知見に基づいて、大阪市民生業務部門のエネルギー需要モデルを開発した。本モデルは、用途、規模、熱源システムのほか、ゾーニング、断熱性能、省エネルギー手法の採用状況について建築ストックを類型化し、データベースを構築してモデルに組み込んでいる。また、代表建物モデルのエネルギー需要原単位を算出するシミュレーションモデルとして、電力、冷温熱、給湯、蒸気（加湿・消毒など）、ちゅう房用エネルギーといった用途別最終需要を1時間タイムステップで詳細に推計するシミュレーションモデルを開発した。これにより、建築仕様、設備仕様、建築の使われ方（用途など）の違いが個々の建築のエネルギー消費に及ぼす影響、また、都市における各パラメータの分布を考慮して都市スケールでエネルギー需要の推計、温暖化対策の導入効果の推計ができるようになった。

(3) 本論文の構成

以下では関東、中部、近畿、四国地方に立地する業務建築の省エネルギー手法の採用状況を推計した結果を示す。次に、エネルギー需要モデルの構成を説明し、エネルギー需要の推計結果を示す。最後に大阪市民生業務部門を対象として複数の省エネルギー対策導入ケースを想定し、都市スケールで二酸化炭素排出量削減ポテンシャルを推計する。結果から温暖化対策の推進における課題を議論する。

2. 業務建築ストック集積状況、省エネルギー手法採用状況の把握

(1) 業務建築ストックの集積状況

東京都区部、多摩・島しょ地域、大阪府大阪市、愛知県名古屋市を対象に、規模別に業務建築の床面積比率を推計した。推計には表1に示すデータを用いた。各データは、航空写真と現地調査に基づいて作成されたものであり、建築一棟を単位とする情報が集計されている。本研究では、建築面積を基準階面積と仮定し、建築面積と地上階数の積によって延床面積を与えた。この仮定によって高層建築の延床面積を過大に算出する可能性があるが、非課税建築を含め、業務建築の用途別・規模別の床面積を把握することが可能である。

結果を図2に示す。図に示した業務部門床面積の合計は311百万㎡であり、2001年における日本全国の業務部門建築の床面積推計値²⁵⁾(1,686百万㎡)と比較すると、日本の業務建築の18%を占める。

図からわかるように、延床面積2,000㎡未満の建築は全業務ストックの30～40%を占め、1万㎡未満では約60%～70%を占める。

表1 建築ストック調査に用いたデータ	
都市名	建築ストック調査に用いたデータと調査年
東京都区部	平成13年度土地利用現況調査 ²¹⁾
東京都多摩・島しょ地域	平成14年度土地利用現況調査 ²²⁾
大阪府大阪市	平成12年度土地利用現況調査 ²³⁾
愛知県名古屋市	平成13年度建物用途現況データ ²⁴⁾

図2 規模別の建築ストック比率

(2) 省エネルギー手法の採用状況

業務建築における省エネルギー手法の採用状況を把握するため、社団法人空気調和・衛生工学会の竣工設備データ²⁶⁾を用いて、用途別・規模別に全熱交換器、外気冷房、VAV、VWV、大温度差搬送の5つ省エネルギー手法の採用状況を集計した。竣工設備データは1993年から2006年までのもので、このうち、関東、中部、近畿、四国地方に立地する業務建築（事務所1682件、商業632件、宿泊352件、医療1209件）をサンプルとして採用した。本竣工設備データは5つの手法に加えて、熱回収、自然エネルギー利用、インバータ制御、蓄熱、コージェネレーションという手法の採否のデータを含む。しかし、本研究のエネルギー需要モデルでは熱回収システムを考慮できていないことからこれを無視した。また、自然エネルギー利用とインバータ制御は記述された手法がどのような手法を指すのか明確でないことから無視した。また、後述するエネルギー需要モデルでは蓄熱とコージェネレーションシステムの採用、竣工設備データに含まれていない高効率照明の採用、外壁の断熱化を別途考慮した。ここで対象とする5つの手法は省エネルギー手法全般からすると限定的であるが、いずれの手法も広く使用されているものであり、業務建築における省エネルギー手法の採用状況を理解するうえでは十分な結果を得ることができると考えられる。

本研究では用途に加えて建築の規模（延床面積）、空調システムの種類（セントラル方式、あるいは、個別分散型空調システム）によってサンプルを分類し、それぞれの分類について省エネルギー手法の採用状況を集計した。集計ではすべての省エネルギー手法の組み合わせを列挙し、各省エネルギー手法の組み合わせが採用されている建築数の比率を算出した。ただし、集計に使用した規模の区分は、第3節に説明する大阪市の建築ストックの規模区分を用いた。

図3に建物用途別の省エネルギー手法採用状況を集計した結果を示す。図からわかるように、建築規模が大きくなるにつれて、多様な省エネルギー手法が導入される傾向を見ることができる。業務建築ストックの50%以上を占める中小規模建築では省エネルギー手法の採用数が小さい。また、個別分散型空調システムを採用している建築はセントラル方式を採用している建築と比較して省エネルギー手法の採用数が少ない。用途別に比較すると、事務所建築の省エネルギー手法採用数が比較的大きいのに対して、商業建築は省エネルギー手法の採用数が少ない。

図3 用途別・規模別省エネルギー手法採用状況 (A:全熱交換器, B:外気冷房, C:VAV 搬送, D:VVW 搬送, E:大温度差搬送)

表2 大阪市業務建築ストックの類型化

用途	規模区分	CL1	CL2	CL3	CL4	CL5
事務所	延床面積区分範囲	700 m ² 未満	700 m ² -2,000 m ²	2,000 m ² -6,000 m ²	6,000 m ² -30,000 m ²	30,000 m ² 以上
	床面積比率[%]	17.9	19.4	21.6	22.8	18.4
	延床面積[m ²]	385	1,257	3,635	14,034	145,998
	基準階床面積[m ²]	128	314	606	1,559	5,615
商業:店舗	階数	3	4	6	9	25
	延床面積区分範囲	500 m ² 未満	500 m ² -2,000 m ²	2,000 m ² -8,000 m ²	8,000 m ² -50,000 m ²	50,000 m ² 以上
	床面積比率[%]	20	20	19	22	19
	延床面積[m ²]	245	1,081	4,137	23,614	170,619
商業:飲食	基準階床面積[m ²]	122	541	1,379	4,723	15,511
	階数	2	2	3	5	11
	延床面積区分範囲	500 m ² 未満	500 m ² -2,000 m ²	2,000 m ² -3,000 m ²	3,000 m ² -6,000 m ²	6,000 m ² 以上
	床面積比率[%]	37	35	8	11	9
宿泊	延床面積[m ²]	261	1,037	2,444	4,292	22,106
	基準階床面積[m ²]	87	259	489	613	2,010
	階数	3	4	5	7	11
	延床面積区分範囲	1,100 m ² 未満	1,100 m ² -2,000 m ²	2,000 m ² -15,000 m ²	15,000 m ² -100,000 m ²	100,000 m ² 以上
医療	床面積比率[%]	6.7	6.2	19.1	27.1	40.9
	延床面積[m ²]	649	1,509	5,963	56,329	209,407
	基準階床面積[m ²]	162	302	852	5,121	8,054
	階数	4	5	9	19	28
医療	延床面積区分範囲	500 m ² 未満	500 m ² -2,000 m ²	2,000 m ² -6,000 m ²	6,000 m ² -30,000 m ²	30,000 m ² 以上
	床面積比率[%]	20.0	19.6	18.9	19.6	21.8
	延床面積[m ²]	264	1,084	3,788	13,371	90,025
	基準階床面積[m ²]	132	361	947	2,228	6,430
医療	階数	2	3	4	6	14

3. 都市スケールのエネルギー需要モデルの開発

図1に示した建物類型モデルの構築手順に基づき、大阪市の業務建築のエネルギー需要モデルを開発した。以下では、建築ストックの類型および類型別の床面積比率の算出方法と、代表建物モデルを入力としてエネルギー需要を推計するシミュレーションモデルの概要、大阪市全体のエネルギー需要推計結果を述べる。

3. 1 業務建築ストックの類型化および代表建物モデルの作成

本研究では①用途（5用途）、②規模（5分類）、③ゾーニング（9種）、④断熱の有無（2種）、⑤採用している熱源システム（8システム）および⑥省エネルギー手法（5水準）に基づいて業務建築ストックを類型化した。図4に本研究で想定した各要素の関係性を示す。建築の規模の分布は用途により異なり、ゾーニング、熱源システムの採用比率は用途・規模に依存するものとした。また、省エネルギー手法の採用比率は熱源システム（セントラル空調方式、あるいは、個別分散型空調方式）によって異なるものとした。断熱の採用比率については用途・規模等との関係性を示す資料がなかったことから、一定の比率を与えるものとした。この結果、業務建築ストックは合計 18,000 の区分に分類される。各区分の床面積の比率は、①から⑤の各分類要素の床面積比率の積によって与えられる。

図4 建築ストックの類型化に用いた要素とその関係性

(1) 用途および規模によるストックの類型

ここでは事務所、商業、宿泊、医療の各建築ストックを建築の規模によって5つの区分に類型化した。以下ではこの区分を「規模区分」とし、CL1（最も規模が小さい区分）からCL5（最も大きい区分）として表示する。

ストックの類型に用いたデータは、前述の大阪府大阪市の土地利用現況調査²³⁾の建物別のデータである。まず、すべての建物を用途で分類し、次に、省エネルギー法の適用範囲である延床面積 2,000

m²を境界としてサンプルを2つに分けた。さらに、2,000 m²未満の業務建築を2つ、2,000 m²以上の業務建築を3つの規模区分に分類した。ここでの分類は各規模区分の床面積合計値が均等になる延床面積を求め、その床面積を境界として規模区分を決定した。表2にこの方法で得られた大阪市業務建築の規模区分および各規模区分に含まれる建築ストックの割合を示す。ただし、各規模区分の境界となる床面積は、表2（用途別の床面積区分）に示すように区切りのよい数字とした。

図5 大阪市の事務所建築の床面積分布と代表建物モデルの延床面積及び基準階床面積

(2) 用途別・規模別の代表建物モデルの設計

用途・規模の各類型について、代表建物モデルの延床面積、基準階床面積、階数を決定する。延床面積および基準階床面積について、延床面積に基づく重みづけ平均を行い、代表建物モデルの延床面積、基準階床面積とした。次に、得られた基準階床面積によって延床面積を除し、端数を四捨五入した数値を代表建物モデルの階数とした。最後に、延床面積を階数で割り、代表建物モデルの基準階床面積とした。結果を表2に併せて示す。例として、図5に事務所建築の延床面積、基準階床面積の分布、代表建物モデルの延床面積、基準階

床面積を示す。

(3) 建物モデルの階層別用途の設定

業務建築は複数の用途が混在する場合が多い。このような用途の混在を考慮し、代表建物モデルでは階層別に用途を設定した。

建築設備士協会の竣工設備データ EL PAC²⁷⁾は、建築の詳細用途別の床面積比率を集計している。詳細用途とは、事務所、物販店舗、飲食店舗、貸しホール、貸し会議室、運動施設、娯楽・共用施設、電算機室、展示スペース、社員食堂、レストラン、宴会場、結婚式場、医療施設病棟部・外来部・診療部・供給部・管理部、その他である。このデータを表2に示した規模区分について再集計した。結果を表3に示す。これに基づいて、各用途の代表建物モデルの階層別の用途を設定した。設定の概要を表3に併せて示している。

図6 医療建築の詳細用途比率

図7 ゾーニングの種類（灰色部分は非空調室を表す）

(4) ゾーニング

ゾーニングとして図7に示す種類を考慮し、とりうる方位を勘案し、合計9種のゾーニングを想定した。

各規模区分の面積比率は、規模区分 CL1、CL2 については片側コア（図7のC）のみとし、1/4 ずつの比率とした。宿泊、医療では、規模区分 CL3~CL5 ではすべてセンターコア（図7A）とした。この理由は、客室、病棟に窓を配置する建物が多いためである²⁸⁾²⁹⁾。

表3 竣工設備データによる用途別床面積の集計結果と代表建物モデルの用途の設定

用途	規模区分	竣工設備データの集計結果	代表建物モデルの用途の設定
事務所	CL1-3	95%の床面積が事務所のみで構成される。	すべての階層を事務所用途とする。
	CL4	8%の床面積が異なる用途で構成される。内訳は飲食店舗 52%、物販店舗 15%、電算施設 15%である。	1F(延床面積の11%に相当)に飲食店舗が配置されているものとする。
	CL5	約10%がオフィス以外の用途で構成される。その内訳は、物販店舗 22%、飲食店舗 35%、貸しホール・貸し会議室 20%、電算機室 8%である。	1階(延床面積の4%に相当)を物販店舗、2階を電算機室、その他の階を事務所用途とする。(6000 m ² 未満の建築の1.3%、6000 m ² 以上の建築の0.6%が電算機室に相当し、これはサンプルの1%が電算機室に使われていることを意味する。代表建物モデルの1階層分は事務所ストックの0.8%に相当することから、代表建物モデルの1階層が電算機室であるとした。)
	CL1-3	72%が物販店舗であり、10%が飲食店舗、その他は事務室などで構成されている。	CL1、CL2は全ての階層を物販店舗とする。CL3は1階部分を飲食店舗とし、その他を物販店舗とする。
店舗	CL4	73%が物販店舗であり、8%が飲食店舗、その他は事務室などで構成されている。	1階部分を飲食店舗とし、その他を物販店舗とする。
	CL5	58%が物販店舗であり、10%が飲食店舗、8%が事務室、その他は運動施設やアトリウムなどで構成されている。	最上階(11階)を飲食店舗とし、10階部分を事務所用途とする。
	CL1-5	飲食店舗が主用途である建物は17件のみであったが、いずれの規模で集計しても、80%強が飲食店舗であった。	用途の混合はなく、すべてが飲食店舗とする。
飲食	CL1-3	13%の床面積が客室以外で構成される。そのうち、最も床面積が大きいのは宴会場の分類である。宴会場、レストランなど飲食関連の床面積は80%を超える。	1階層目をフロントとレストラン・宴会場とし、それ以外を客室とする。
	CL4	15%の床面積が客室以外であり、大部分が飲食関連の床面積である。	代表建物モデルの15%の床面積は3階層分に相当する(全19階層)。1Fをロビー、事務室、レストランとし、2Fを宴会場、最上階をレストランとする。
	CL5	客室以外の床面積は27%を占める。客室以外の床面積の35%を物販店舗が占める。このほかは宴会場、レストラン、結婚式場、厨房などが占める。	代表建物モデルの27%の床面積は7階層分に相当する(全28階層)。1F、2Fを物販店舗とする。3F~5Fを宴会場、最上階2階層をレストランとする。
医療	CL1	医療建築の竣工設備データでは病棟部、外来部、診療部、供給部、管理部、その他の区分で床面積が与えられている。「その他」を除いて規模区分別に比率を算出した。結果を図6に示す。この区分に応じて代表建物モデルの各階層の用途を設定した。	病床のない診療所を想定。1Fを受付ロビーと管理事務所、2Fを診療部とする。
	CL2		病床のある診療所を想定。1Fを受付・管理事務所、診療部、2Fを診療部、3Fを病棟部とする。
	CL3		1F部分を受付・管理事務所、診療部、2Fを診療部、3F、4Fを病棟部とする。
	CL4		1Fを受付・管理事務所とし、2F~4Fを診療部、5F、6Fを病棟部とする。
	CL5		地下2階を駐車場、倉庫、機械室とし、地下1階を供給部、地上1階をロビー、管理事務所、2F~5Fを診療部、6F~12Fを病棟部とする。

図 8 用途別・規模別省エネルギー手法採用比率 (A:全熱交換器, B:外気冷房, C:VAV 搬送, D:VVWV 搬送, E:大温度差搬送)

図 9 熱源システムの組み合わせの集計方法

表 4 用途別・規模別熱源システム採用率

用途	事務所				商業・店舗				宿泊				医療		
熱源システム組合せ	CL1,2	CL3	CL4	CL5	CL1,2	CL3	CL4	CL5	CL1,2	CL3	CL4	CL5	CL1,2	CL3	CL4,5
吸収+CGS	0%	1%	1%	3%	0%	0%	1%	4%	0%	1%	3%	8%	0%	2%	21%
吸収式冷温水機	8%	19%	50%	57%	9%	24%	52%	72%	45%	49%	66%	60%	18%	46%	56%
吸収式+ボイラ	0%	0%	0%	3%	0%	0%	1%	1%	0%	1%	2%	21%	0%	1%	16%
電動冷凍機+ボイラ	0%	1%	4%	17%	2%	2%	4%	9%	7%	9%	5%	5%	5%	1%	0%
空冷 HP	1%	2%	2%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	4%	0%	0%	1%	2%
マルチ/PAC	80%	68%	37%	13%	76%	57%	30%	8%	45%	30%	18%	5%	63%	34%	4%
マルチ/PAC+蓄熱	4%	4%	6%	2%	0%	5%	3%	3%	3%	0%	1%	2%	4%	5%	1%
GHP	7%	5%	1%	2%	13%	13%	9%	4%	0%	3%	1%	0%	10%	10%	1%

事務所、店舗、飲食では、9つのゾーニング区分に等しく面積を配置した。

(5) 断熱の有無

断熱対策については、北海道や東北の業務建築を除き³⁰⁾³¹⁾、規模によらず 20%未満の採用率であることが報告されている³²⁾。

本研究では建築ストックの平均的な断熱実施率を 20%とし、断熱を採用している建物は 20mm の硬質ウレタンフォーム (0.028W/m・℃) を外壁に導入するものと設定した。

(6) 省エネルギー手法

省エネルギー手法については第 2 節で集計した省エネルギー手法の採用実態に基づいて 5 つの水準と各水準の床面積比率を算出した。各水準は水準 1 が省エネルギー手法の採用がない建築、水準 5 は調査対象の 5 つすべての省エネルギー手法を採用している建築とし、水準が上がるに従って省エネルギー手法の採用数が増えるように設定した。ただし、各水準で採用される省エネルギー手法は第 2 節に示した省エネルギー手法の組み合わせについて、比率が高いものから選択した。用途別・規模別の省エネルギー水準に含まれる省エネルギー手法および床面積の比率を図 8 に示す。ただし、飲食施設が主用途 (最も延床面積に占める比率が高い用途) であるサンプルが

少なかったことから、店舗、飲食の集計においては、第 2 節で用いた商業施設のデータを共通のサンプルとして用い、表 2 に示した各用途の規模区分で整理した。図 8 では紙面の都合上飲食施設の結果を割愛している。次の熱源システムの結果でも同様である。

(7) 熱源システム

建築の用途別・規模別に空調熱源システムの採用比率を集計した。データのサンプルは省エネルギー手法の採用状況の把握に用いた空気調和・衛生工学会の竣工設備データ²⁶⁾のうち、1984 年～2006 年に竣工された事務所 2,339 件、商業 684 件、宿泊 1,003 件、医療 1,262 件である。集計手順を図 9 に説明する。サンプルデータは冷熱源機器、温熱源機器の種類と機器別の容量が集計されている。まず、このデータに基づいて最も容量の大きい冷熱源機器、温熱源機器を抽出した。次に、この主たる冷熱源機器・温熱源機器種類、加えて、コージェネレーションシステム、蓄熱システムの有無についてすべての組み合わせを列挙し、各組み合わせの採用件数の比率を用途別・規模別に算出した。この結果から、採用率の高い 8 種 (表 4) の熱源システムに集約し、その採用率の比率を算出した。用途別の集計結果を表 4 に示す。

図 10 シミュレーションモデルの計算フローとデータベース

図 11 冷温熱需要推計結果（用途別・規模別：横軸の 1 から 5 の数字は規模区分 CL の数字、原は原単位を示す。上は冷熱、下は温熱）

3. 2 代表建物モデルによる原単位推計に用いるシミュレーションモデル

図 10 に代表建物モデルの情報を入力条件として、エネルギー需要（電力・都市ガス）を推計するシミュレーションモデルの計算手順とデータベースの構成を示す。代表建物モデルは建築の形状（延床面積・基準階床面積など）、壁などの部材の構造、基準階のゾーニングや方位、壁面における窓面積、建築設備仕様（採用している熱源システム、省エネルギー手法の種類、機器効率）、加えて、主用途と階層別の用途を与える。建物類型別の代表建物モデルの設定は前節に示したとおりであり、それ以外の要素は文献⁴⁵⁾を参考に設定した。階層別の用途に応じて居住者や室内のエネルギー消費機器の密度やスケジュール、室内環境の維持に求められる空調スケジュール、外気導入量などは各種文献に基づいて設定し、データベースとしてモデルに組み込んでいる^{注1)}。シミュレーションモデルでは、これらの条件に基づいて、冷温熱需要、電力需要³³⁾、給湯需要^{注2)}、ちゅう房用エネルギー需要^{注3)}、医療用蒸気需要^{注4)}を 1 時間タイムステップで算出し、熱源システムモデル（分散型電源を含む）によって各最終需要を満足するために消費される電力量、都市ガス量を算出する。ただし、前処理計算として、空調熱負荷の最大負荷計算などを行い、設備容量を設定している。

3. 3 建物類型別エネルギー需要原単位の推計結果

以上より得られた代表建物モデルを入力条件として、3. 2 節に説明したシミュレーションモデルを用い、建物類型別のエネルギー需要（電力・都市ガス）を算出した。この結果を原単位化し、各建物類型のエネルギー需要原単位として用いる。

図 11、図 12 に大阪市の業務建築を想定して建物類型別に算出した用途別最終需要（冷温熱、電気）を示す。結果は用途別・規模別に集計した値（用途・規模以外の要素について重み付け平均して算出した）と最大値、最小値、参考値として過去の研究でまとめられ

たエネルギー需要原単位の上限値、下限値を示す。この参考値データは平野³⁴⁾がレビューした文献 10 件（冷温熱需要の掲載があった文献のみ）と空調調和・衛生工学会関西地区建物エネルギー消費実態調査研究会³⁵⁾のから作成したものである。推計結果は既存の原単位の上限と下限の間にあり、おおむね実態に反するものではないと考えられる。推計結果は原単位と近い値をとっているが、規模が大きくなるにつれて温熱需要が小さくなり、冷熱需要が大きくなる傾向がみられるなど、規模・用途に応じて特徴のあるエネルギー需要が算出されている。事務所の規模区分 CL5 の電力需要、冷熱需要が突出した数字となった理由は代表建物モデルにおいて電算機室を想定したためである。既往研究でまとめられている電算機事務所の冷熱需要原単位の上限は 2,541MJ/m²・年、下限は 544MJ/m²・年であり、電算機室が入居している事務所ビルのエネルギー需要としては妥当なものであると考えられる。しかし、すべての用途において原単位データに大きな幅がみられ、実態を反映した推計が得られていると判断しにくい。建物単位のエネルギー消費実態調査に基づく推計精度の検証を今後の課題とする。

図 12 電力需要推計結果（図右の矢印は原単位の上限、下限を示す）

3. 4 大阪市民生業務部門エネルギー需要の推計

3. 3 節で求めた原単位を各類型のストック床面積にかけあわせ、

類型別にエネルギー需要合計値を推計した。それらを足し合わせ、大阪市業務部門のエネルギー需要（電気・都市ガス）を算出した。図 13 に推定値および電力、都市ガスの統計値を示す。電力の統計値は 2001 年における関西電力の業務用、小口、従量電灯 B 電力販売量の実績値の合計³⁶⁾、都市ガスも同年の大阪ガスの商業、医療、公用の都市ガス販売量実績値合計³⁶⁾とした。ただし、高効率照明のシェアについて利用可能なデータがなかったことから、室内の照明器具として普通蛍光灯を仮定した場合（図 13 横軸では「高効率照明なし」と表示）、高効率照明を仮定した場合（図 13 横軸では「高効率照明」と表示）の両方の結果を示している。現在の高効率照明の普及状況を勘案すると、エネルギー需要の推計値は両データの間付近に位置すると考えられる。建物類型モデルによる推計値を統計値と比較すると、「高効率照明なし」の場合、電力は統計値よりも 1%、都市ガスは 2%大きい。「高効率照明」を仮定した場合、電力は統計値よりも 8%、都市ガスはほぼ統計値と等しくなる。都市ガスにも変化が生じている理由は高効率照明の普及によって冷温熱需要が変化するためである。図 14 に電力、都市ガス需要の内訳（最終用途別、建物用途別）を示す。

推計値において誤差が生じ得る要因は多数あるが、特に、商業、飲食施設の冷凍冷蔵用のエネルギー消費など、本研究で十分にモデル化できていないエネルギー消費が存在することや、遊興施設や運動施設など、多様なエネルギー消費形態を考慮できていないことなどが誤差要因としてあげられる。また、本研究では LP ガスや重油などのエネルギー源を考慮していない。特にちゅう房用エネルギーはすべて都市ガスであるとしているなど現実を反映していない部分もある。エネルギー消費実態データとの検証や精度の向上は今後の課題とする。

図 13 大阪市業務部門エネルギー需要（電力・都市ガス）推計結果

図 14 年間エネルギー需要（二次）の内訳（上：最終用途別，下：建物用途別）

4. 業務建築における二酸化炭素排出量削減方策に関する検討
建築ストックの集積状況、省エネルギー手法の採用状況をふまえて、トップラナー熱源機器の普及、照明の高効率化、断熱強化、省エネルギー手法の普及による二酸化炭素排出量削減ポテンシャル

を定量化する。以下では高効率照明の普及率をゼロとした場合の推計値（4,411 千トン CO₂/年）をベースケースとする。なお、電気、都市ガス（13A）の二酸化炭素排出係数³⁷⁾として、0.338kg-CO₂/kWh、0.0506kg-CO₂/MJ（発熱量 41.1MJ/Nm³）を用いた。

(1) Hf 蛍光灯、トップラナー熱源機器の普及

ここでは比較的成り行きで達成されやすいと考えられる普通蛍光灯（70lm/W）の Hf 蛍光灯（100lm/W）への置き換え、トップラナー熱源機器の普及を想定し、二酸化炭素排出量の削減ポテンシャルを示す。表 6 にベースライン推計に用いた熱源機器 COP とトップラナー熱源機の COP を示す。

図 15 に結果を示す。なお、結果は規模別に算出し、積み上げた結果を表示している。棒グラフ上の数字は削減率を表す。図からトップラナー熱源機器の普及、Hf 蛍光灯の普及はともに 7%～8%と大きな二酸化炭素排出量の削減をもたらすと考えられる。

表 6 熱源機器 COP の設定		
熱源機器	ベース	トップラナー
ターボ冷凍機	4.50	6.00
空気熱源ヒートポンプ	冷房	2.89
	暖房	3.12
吸収式温温水機	1.00	1.30
ガスボイラ [HHV]	0.83	0.83
ビルマルチ式空調システム	冷房	2.60
	暖房	3.20
ガスエンジン駆動ヒートポンプ	冷房	0.95
	暖房	1.19

図 15 二酸化炭素排出削減ポテンシャルの推計（Hf 蛍光灯、トップラナー熱源機器の普及による効果）

図 16 二酸化炭素排出削減ポテンシャルの推計（断熱強化および省エネルギー手法の段階的普及（右 4 つの結果））

(2) 断熱強化および省エネルギーの推進

ここでは断熱強化および省エネルギー手法の普及によって得られる二酸化炭素排出量のポテンシャルを推計する。省エネルギー水準のシェアを 4 段階で変更し、省エネルギー手法の普及をモデル化した。第 1 段階では、水準 1（省エネルギー手法の採用なし）の建築の比率をゼロとし、水準 2 を採用している建築の比率をベースケースにおいて水準 1 を採用している建築の比率とした。同様に、水準 3、水準 4 の建築の比率を、それぞれベースケースにおける水準 2、水準 3 の比率とした。ただし、水準 5 はベースケースにおいて水準 4、水準 5 を採用している建築の比率の合計とした。第 2 段階から第 4 段階でも同様に水準をひとつずつ増加させ、第 4 段階ではすべての建築が水準 5 となる設定とした。

結果を図 16 に示す。断熱強化による削減ポテンシャルは、規模区分 3 以下の中小規模建築での対策導入の寄与が大きい。この結果から、中小規模建築（特に、省エネルギー法の対象ではない 2,000 m²未満の建築）における断熱性向上が重要であると考えられる。

省エネルギー手法の推進については、今回考慮した手法は空調関連のものに限定されているにも関わらず、Hf 蛍光灯やトップランナー熱源機器の普及と同等の削減ポテンシャルがあることがわかった。

経年劣化などの影響により熱源システムの効率が想定したよりも低い場合、ここで示した削減量はさらに大きくなる。

(3) 対策の複合効果

ここでは Hf 蛍光灯の普及、断熱強化、トップランナー熱源機器の普及、省エネルギー手法の普及によって得られる複合的な二酸化炭素排出量削減ポテンシャルを推計する。結果を図 17 に示す。図から現在利用可能な技術によって 30% の二酸化炭素排出量が削減可能であることがわかる。この削減ポテンシャルの約 6 割を規模区分 CL1～CL3 の中小規模建築が占める。

図 17 二酸化炭素排出削減ポテンシャルの推計
(各対策の複合効果)

図 18 二酸化炭素排出削減ポテンシャルの推計
(LED 照明の普及と各種対策の複合効果)

(4) LED の実用化による削減ポテンシャル

照明器具では将来技術として現在使用されている蛍光灯と比較して 2 倍程度の発光効率を持つ LED (Light Emitting Diode) ³⁸⁾ の実用化が期待されている。ここでは、LED の発光効率を 150lm/W とし、二酸化炭素排出量の削減ポテンシャルを推計した。ただし、応用範囲は天井照明のみとし、店舗で用いられるディスプレイ用の照明などに変化は起こらないものとした。結果を図 18 に示す。

LED 照明による二酸化炭素排出量の削減ポテンシャルは 15% に達する。その他の手法との組み合わせにより 40% の削減が可能となる。この結果は民生業務部門にいて 50% を超える大幅な二酸化炭素排出量の削減を実現する可能性を示唆するとともに、大規模な削減のためには多様な対策の導入が不可欠であることを示す。特に、断熱強化による二酸化炭素排出量削減効果が 5% と単独で断熱強化を行う場合よりも高い効果を示しているように、建築内における発熱の減少など、今後の数十年間で生じうる変化を考慮して長期的に建築ストックを転換していくことが重要であると考えられる。

5. まとめ

本論文では、日本の業務建築における温暖化対策の検討を目的と

して建築ストックの集積状況、省エネルギー手法の採用実態を調査するとともに、建築仕様、省エネルギー手法、熱源システムなどの設備仕様、建築の使われ方といった建築のエネルギー需要に大きな影響を及ぼす要素の分布を反映し、都市スケールでエネルギー需要を推計するモデルの構築手順を示した。本論文では大阪市の業務建築を対象としてエネルギー需要モデルを開発し、今後の二酸化炭素排出量の削減方策について検討した。得られた知見を以下に示す。

- ・ 業務建築全体に占める中小規模建築の割合は非常に大きい。東京都、大阪市、名古屋市では 2,000 m²未満の建築がストック全体の 30%～40%、1 万 m²未満であれば 60%～70% を占める。
- ・ 省エネルギー手法の採用状況については、建築規模、用途、熱源システムの種類（セントラル空調方式か個別分散型空調方式）に応じて省エネルギー手法の採用状況が異なり、業務建築ストックの 50% 以上を占める中小規模建築では省エネルギー手法の採用数が小さいことが明らかになった。
- ・ 高効率照明（Hf 蛍光灯、LED）やトップランナー熱源機器の普及などエネルギー消費機器の高効率化は大きな二酸化炭素排出量削減ポテンシャルを持つ。しかし、今後半世紀間で 50% を超える削減を実現するためには不十分であり、断熱強化や空調関連の省エネルギー手法の導入など、個々の建築での省エネルギーの推進が不可欠である。中小規模建築は全二酸化炭素排出量削減ポテンシャルの約 6 割を占める。
- ・ 今後照明器具における高効率化が進む場合、空調室内の内部発熱の減少によって断熱強化による二酸化炭素排出削減ポテンシャルは増加する。二酸化炭素排出量を大幅に削減するためには、この例のように長期的な視点で建築ストックの転換を考えていくことが有効である。

謝辞

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)課題番号 18360273(代表者：下田吉之)ならびに若手(B)課題番号 20760409(代表：山口容平)の助成を受けて行われたものである。本研究の遂行にあたり、山口大学福代和宏准教授、大阪市、名古屋市、東京都の自治体関係者各位、また、浅井崇志君、石垣泰君、岩井良真君、橋本早紀君に多大なご支援を賜りました。ここに記して謝意を表します。

注

- 1) 事務所の設定は文献 33)39)、店舗、飲食、医療は文献 40)、宿泊施設は文献 41)に基づいて設定した。
- 2) 事務所ビル、飲食ビル、宿泊施設、医療建築について給湯需要を考慮した。事務所ビルは村川ら ⁴²⁾ の実測結果から冬期 4.5、夏期 4.0 リットル/日・人とした。飲食ビルについては、高田ら ⁴³⁾ の実測結果に基づいて、飲食店舗面積当たり 7.3 リットル/日・人とした。ともにスケジュールは人員在室率に比例するものとして算出した。また、事務所ビルでは電気による局所式給湯方式 ⁴⁴⁾、飲食ビルではガス式 ⁴⁵⁾ の給湯器を想定した。宿泊施設では一人当たりの日積算使用湯量として、宿泊客一人当たり 100 リットル/日・人 ⁴⁶⁾、加えて、共用部の床面積(客室・店舗を除く面積とした)当たり 50 リットル/日・人 ⁴⁰⁾ の給湯需要を想定した。医療施設では宮崎ら ⁴⁷⁾ による部門別の給湯需要の実測結果から病棟部での需要 42.0 リットル/日・床、ちゅう房での需要 46.3 リットル/日・床、病棟、ちゅう房を除くその他の部門での需要 0.5 リットル/日・m²(床面積)が生じるものとした。宿泊施設、医療施設の給湯スケジュールは文献 40)より与えた。給湯はいずれもボイラにより行うものとした。以上より得られた給湯需要と日平均給湯水温と上水温度の温度差、水の比熱をかけ合わせ、給湯用のエネルギー需要として定量化する。
- 3) 飲食用途では、村川ら ⁴⁸⁾ の実測結果をもとにちゅう房面積当たりのガス消費量(夏期 16 MJ/m²・日、中間期・冬期 19 MJ/m²・日)を用いた。ただし、本モデルでは飲食店舗の延床面積の 20% がちゅう房面積であるとし、すべてのちゅう房がガス調理器具を使用していることを想定している。宿泊施設では、文献 49)から宴会会場面積当たりのちゅう房ガス消費量の平均値、6.66 m³/m²・月(宴会会場面積当

たり)を原単位として用いた。医療施設では、文献 50)のちゅう房におけるガス使用量実績値(一食当たりの都市ガス使用量平均値)、708kJ/食(0.0154 m³/食)を採用し、入院患者数の3倍を一日の食数とし、都市ガス消費量を算出した。

注 4) 病院における蒸気負荷は冷温熱、加湿、給湯以外に医療用(医療用の滅菌、洗浄、洗濯など)の蒸気需要がある。本研究では河村ら⁵¹⁾によるある病院の医療用ガス消費量の測定結果を原単位化し、得られた0.25 m³/m²・月を医療施設における滅菌、洗浄、洗濯のための蒸気需要として与えた。また、医療建築では蒸気加湿式で湿度調整を行うものとし、空調システムモデルにおいて加湿用蒸気需要を算出している。

本研究に関する既往発表論文

- 1) 下田吉之, 山口容平, 石垣泰, 水野稔:民生業務部門における温暖化対策のデザイン: 第1報 建築ストックの集積および省エネルギー手法採用状況の調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp. 873-874, 2007.7
- 2) 山口容平, 下田吉之, 石垣泰, 水野稔:民生業務部門における温暖化対策のデザイン: 第2報 省エネルギーポテンシャルの推計, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp. 875-876, 2007.7

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁:平成 18 年度「省エネルギー対策実態調査」報告書, 2007.3
- 2) 小松幸夫, 島津護:竣工記録に基づいた事務所建物の寿命調査, 日本建築学会計画系論文集, No. 565, pp. 317~322, 2003.3
- 3) 石田武志:業務建物に導入される地球温暖化対策の相互効果評価モデルの構築, 環境情報科学論文集, Vol. 21, pp. 625~630, 2007
- 4) 日本建築設備士協会空気調和設備シミュレーション研究会:国内の空調装置シミュレーションプログラムの比較, 空気調和・衛生工学, No.58-7, pp. 683~696, 1984.7
- 5) 滝沢博:標準問題の提案(オフィス用標準問題), 日本建築学会環境工学委員会熱分科会第15回熱シンポジウム, pp. 35~42, 1985
- 6) Shorrock, L.D. and Dunster, J.E.: The Physically-based Model BREHOMES and Its Use in Deriving Scenarios for the Energy Use and Carbon Dioxide Emissions of the UK Housing Stock, Energy Policy, Vol. 25, pp. 1027~1037, 1997. 10
- 7) 岩船由美子, 山地憲治:業務用建物における各種省エネルギー施策の総合の評価, 電気学会論文誌 B, Vol.121, No.5, pp. 581~589, 2001. 5
- 8) Petersdorff, C. Boermans, T. and Harnisch, J.: Mitigation of CO₂ Emissions from the EU-15 Building Stock, Beyond the EU Directive on the Energy Performance of Buildings, Environmental Science Pollution Research, Vol. 13, No. 5, pp. 350~358, 2006. 9
- 9) Huang J. Akbari H. Rainer L. and Ritschard R: 481 prototypical commercial buildings for 20 urban market areas, Lawrence Berkeley Laboratory, LBL-29798, 1991. 4
- 10) Boardman, B.: Examining the carbon agenda via the 40% House scenario. Building Research and Information, Vol. 35, No. 4, pp. 363~378, 2007. 6
- 11) Shimoda, Y. Fujii, T. Morikawa, T. and Mizuno, M.: Residential End-use Energy Simulation at City Scale, Building and Environment, Vol. 39, pp. 959~967, 2004. 8
- 12) Clinch, J.P. Healy, J.D., King, C: Modelling Improvements in Domestic Energy Efficiency, Environmental Modelling and Software, Vol. 16, Iss. 1, pp. 87~106, 2001. 1
- 13) Clarke, J.A et al.: Using Simulation to Formulate Domestic Sector Upgrading Strategies for Scotland, Energy and Buildings, Vol. 36, pp. 759~770, 2004. 8
- 14) 柳原隆司, 古越一三雄, 松縄堅, 野原文男, 伊香賀俊治, 近本智行, 長瀬修:東京都における業務用ビルの省エネルギー対策とその削減効果(その1) 省エネルギー対策の波及効果と推進方法の検討, エネルギー資源学会, 第17回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp. 331~336, 2001.1
- 15) 中野幸夫, 占部亘, 古賀登志雄, 濱田憲一, 和手俊明, 高橋淳一, 井上裕光:新築事務所ビルの節電・節水技術の費用対効果, 電力中央研究所報告(研究報告:T02035), pp. 1~16, 2003.4
- 16) 新谷圭右, 伊香賀俊治, 村上周三, 花木啓祐, 津田公平:建築・都市のサステナビリティに関する研究(その1):事務所ビル起因CO₂排出量の超長期予測モデルの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 環境工学 I, pp. 1011~1012, 2007.7.
- 17) 川久保俊, 新谷圭右, 伊香賀俊治, 村上周三, 花木啓祐, 津田公平:建築・都市のサステナビリティに関する研究(その2):事務所ビル起因CO₂排出量の2050年までの都道府県別予測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 環境工学 I, pp. 1013~1014, 2007.7.
- 18) 石田武志, 森俊介:地域の気候特性を考慮した業務建物における空調機器の容量・稼動条件決定モデルに関する研究, 電気学会論文誌, Vol. 125C, pp. 1522~1529, 2005.10
- 19) 外岡豊, 石田武志, 深澤大樹, 金本圭一朗:日本の業務部門におけるCO₂

- 排出削減シナリオ, エネルギー・資源学会第23回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp. 21~24, 2007.1.
- 20) 伊香賀俊治, 村上周三, 加藤信介, 白石靖幸:我が国の建築関連CO₂排出量の2050年までの予測: 建築・都市の環境負荷評価に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 535, pp. 53~58, 2000.9.
- 21) 東京都都市整備局:平成13年度土地利用現況調査, 2001
- 22) 東京都都市整備局:平成14年度土地利用現況調査, 2002
- 23) 大阪市計画調整局:平成12年度土地利用現況調査, 2000
- 24) 名古屋市住宅都市局:平成13年度建物用途現況データ, 2001
- 25) (財)日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット:エネルギー・経済統計要覧(2006年版), 2006. 2
- 26) (社)空気調和・衛生工学会:竣工設備調査用紙一覧 1984~2006
- 27) (社)建築設備士技術者協会:ELPAC2005, 2005
- 28) 日本建築学会:建築設計資料集成[余暇・宿泊]第2章宿泊, pp. 83~145, 2001. 5
- 29) 日本建築学会:建築設計資料集成[福祉・医療], pp. 1~166, 2001. 5
- 30) 日本建築学会北海道支部建築のエネルギー消費調査研究委員会:札幌市における業務用建物のエネルギー消費実態調査—建築のエネルギー消費調査研究委員会報告一, 2002.6
- 31) 東北都市環境研究グループ:空気調和・衛生工学会東北支部および日本建築学会東北支部環境工学部会助成研究, 東北地方における業務用建築のエネルギー消費実態調査, 2000.1.
- 32) (財)省エネルギーセンター:平成17年度省エネルギー対策アンケート調査結果, <http://www.eccj.or.jp/swenquete/17/build.html>, アクセス日:2007.2.10
- 33) 山口容平, 下田吉之, 水野稔:居住者の行動を基準としたオフィスの熱・電力需要シミュレーションモデルの開発, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 93, pp. 37~47, 2004.4
- 34) 平野勇二郎, 外岡豊, 伊香賀俊治, 亀卦川幸浩, 藤沼康実, 下田吉之:民生業務部門エネルギー消費原単位に関する各種資料の比較評価, 日本建築学会環境系論文集, No. 73, pp. 1331~1339, 2008. 11
- 35) 空気調和衛生工学会関西地区建物エネルギー消費実態調査研究会:関西地区建物エネルギー消費実態調査報告書, 1997
- 36) 大阪市計画局調整部統計課編:大阪市統計書平成13年度版, 2002.3
- 37) 環境省:温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧, <http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/material/> (2008.10.9 閲覧)
- 38) Optoelectronics Industry Development Association: Light Emitting Diodes (LEDs) for General Illumination, An OIDA Technology Roadmap Update, in: Roadmap Recommendations, pp. 4~23, 2002
- 39) 羽山広文, 中里秀明, 木下学, 倉淵隆:強制空冷機器を収容した電算機室の高効率空調方式に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 494, pp. 29~36, 1997.4
- 40) 財団法人 住宅・建築省エネルギー機構 (IBEC):建築物の省エネルギー基準と計算の手引, 平成9年度版, 1997
- 41) 岩淵善美, 村上裕子, 東野達, 笠原三紀夫:ビジネスホテルにおけるエネルギー・環境負荷低減 第1報-冬期における客室内の電力消費の現状分析, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 92, pp. 57~64, 2004.1
- 42) 村川三郎, 高田宏, 山根祐子:事務所ビルにおける用途別使用水量・湯量の解析:時系列の水使用行為解析に基づく給水・給湯負荷算定法に関する研究(第1報), 日本建築学会環境系論文集, Vol. 589, pp. 43~50, 2005.3
- 43) 高田宏, 村川三郎, 田中篤:飲食店舗における給湯負荷の解析, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 616, pp. 59~65, 2007.6
- 44) 空気調和・衛生工学会:空気調和・衛生工学便覧第13版, 6応用篇, 第12編空気調和応用, 第2章給排水衛生設備, 第2章 事務施設 pp. 459~469, 2001.
- 45) 空気調和・衛生工学会:空気調和衛生工学便覧第13版, 6応用篇, 第12編空気調和応用, 第1章保険空調, 1.5 商業施設 pp. 200~209, 2001.
- 46) 岩本静男, 桑沢保夫, 田島昌樹, 宇梶正明, 前真之:給湯設備における年間消費エネルギーの予測に関する研究:第1報 ビジネスホテルの計量結果とCEC/HW計算結果の比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 環境工学 I, pp.409~410, 2006.7
- 47) 宮崎峻, 松本敏男, 工藤牧子, 小島龍也, 菅原志文:YU 病院における休日の給湯量の実測調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 環境工学 I, pp. 513~514, 2001.7
- 48) 村川三郎, 篠原道正, 清田誠良, 越川康夫, 西名大作, 伊藤 博幸:業務用ちゅう房における各種調理機器の使われ方とエネルギー消費量の解析, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 69, pp. 61~73, 1998.4
- 49) 空気調和・衛生工学会:空気調和衛生工学便覧第13版, 6応用篇, 第13編給排水衛生設備応用, 第4章保険空調, 宿泊・宴会施設, pp. 481~491, 2001.
- 50) 空気調和・衛生工学会:空気調和衛生工学便覧第13版, 6応用篇, 第12編空気調和応用, 第1章保険空調, 1.7 医療施設 pp. 504~514, 2001
- 51) 河村貢, 黒田英男, 三原一伸, 山内桂一:榊原記念病院の部門別エネルギー消費実態について—第一報: 病院全体のエネルギー消費実態の概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 環境工学 II, pp. 1383~1384, 2007. 7

(2008年11月10日原稿受理, 2009年4月14日採用決定)