

E-0803 低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言

(3) 住宅・非住宅建築エネルギー消費量推定法の大阪市を対象とした検証と予測モデルの改良

横浜国立大学

鳴海 大典

平成20～22年度 累計予算額 12,163千円 (うち、平成22年度予算額 4,283千円)

※予算額は、間接経費を含む

[要旨] 本サブグループでは、非住宅建築と住宅に対してエネルギー削減のシナリオ構築と政策提言に資するため、エネルギー消費実態データ収集等の基礎的な検討を行なった。

非住宅建築に関しては、消費実態が十分に明らかになっていない中小規模建物を中心として実態調査を行った。平成20年度には、2,000㎡未満の事務所や商業店舗における約900軒のエネルギー消費実態データを収集した。結果として、エネルギー消費原単位には非常に大きなばらつきがあり、業種・業態などの「建物の使われ方」が大きな影響を与えていることが示唆された。平成21年度には、更なる詳細評価を行なうために、中規模の食料品小売店舗79軒を対象として、エネルギー消費特性の決定要因を抽出した。また、代表店舗1軒を対象として詳細実測調査を行った。要因分析から、建物規模が小さく、食品売上率が大きい店舗ほど消費原単位が大きな値を示すことを明らかにした。詳細実測調査の結果から、冷設什器の省エネルギー対策が有効であることを示した。平成22年度には、コンビニエンスストアから大規模総合店舗を含めた店舗7軒を対象として詳細実測調査を行なうとともに、冷設什器周辺の熱収支計測を行なった。それらの結果を基に、冷設什器を有する食品小売店舗のエネルギー消費予測モデルを構築した。

住宅建築に関しては、モルフォロジー的な視点がエネルギー消費分析に不可欠との考えの下で、研究分担者が構築した数値モデルを用いて住宅エネルギー消費予測を試みた。平成21年度には、住宅形態に着目し、世帯条件や省エネルギー対策の導入レベルごとにネットゼロエネルギーを達成する条件を特定した。また、その結果を基に、ネットゼロエネルギー達成のために必要な住宅ストックを大阪市について検討した。平成22年度には、住宅の間取りや周辺環境条件がエネルギー消費量に与える影響を定量化し、特に間取りに関してはエネルギー消費量に大きな影響を与えることが示唆された。

[キーワード] エネルギー消費量、予測モデル、中小業務建築、冷設什器、住宅形態

1. はじめに

民生部門のエネルギー消費量は増加傾向にあり、適切な省エネルギー（以下、省エネと記す）技術の普及が急務であるが、民生部門において効果的に省エネ技術を普及させるには、エネルギー消費の形成要因を把握し、その構造に応じた対応が不可欠である。

非住宅建築に関しては、これまでエネルギー消費実態に関する調査が数多く行われ、エネルギー消費構造に関する知見が得られている。近年では、(財)建築環境・省エネルギー機構(IBE)により全国数万件規模の情報収集が実施されている¹⁾。しかしながら、既存調査は大規模建物を対象としたものが多く、小規模建物についてはエネルギー消費実態が十分に把握されていない。

省エネ法の改正²⁾では新たに延床面積300㎡以上（2000㎡未満）の建物に省エネ措置の届け出を義務付けており、非住宅建築では約9割が届け出対象となることから、小規模建物を対象とする実態把握が特に求められている。

住宅に関しても、同様にエネルギー消費実態に関する調査が多く行われているが、住宅のエネルギー消費構造は非住宅建築と比較して、特にその形態や周辺街区状況などによって異なることが予想されるものの、各条件に応じた詳細な情報は十分に蓄積されていない。

上述の背景を鑑み、本サブテーマでは京阪神地域の建築（非住宅・住宅）を対象として、詳細にエネルギー消費構造を把握するとともに、エネルギー消費量を予測モデルにより推定することを目的として種々の検討を行う。

2. 研究目的

本サブテーマは京阪神地域の建築（非住宅・住宅）を対象として、詳細にエネルギー消費構造を把握するとともに、より正確にエネルギー消費量を推定するため、予測モデルの改良に向けた提案を行なうことが目的である。非住宅建築に関しては、エネルギー消費実態が十分に明らかにされていない中小規模の業務建築を主たる対象としてエネルギー消費決定要因の抽出を行なうとともに、時刻別・用途別エネルギー消費に関する詳細な実測調査を行なう。住宅に関しては、研究分担者が構築した数値モデル「SCIENCE vent」³⁾を用いて、住宅形態や街区状況を考慮したモルフォロジー的視点による住宅エネルギー消費解析を行なう。

3. 研究方法

(1) 非住宅建築

1) 中小業務建物を対象としたポスティングアンケート調査

京阪神地区に立地する業務建物（建物オーナーおよびテナント区分所有者）を対象にエネルギー消費実態等に関するアンケート調査を行い、アンケート回答（建物オーナー向け）が得られた建物を対象として追加的に建物使用状況や周辺環境に関する現地調査を行った。配布方法は主としてポスティングとし、回収は同封の返信封筒による郵送とした。調査票の配布数は建物オーナー向けについて約1,900件、テナント区分所有者向けについて約21,000件であった。

2) 食品小売店舗を対象としたエネルギー消費要因分析

阪神地区に立地する小規模（売場面積500㎡未満）の総合（主に食品）小売店舗51軒、中規模の総合（主に食品）小売店舗79軒、大規模（売場面積6,000㎡以上）の総合小売店舗8軒を対象に、エネルギー消費構造把握のためのエネルギー消費実態調査を行った。いずれも同一事業者によるスーパーマーケット業態の店舗である。これらの店舗に対して、事業者に対するヒアリングや日本スーパー名鑑⁴⁾を基にエネルギー消費特性に影響を与える要因について情報収集し、事業者より提供を受けたエネルギー消費実績データとの関係について分析を行なった。

3) 小売店舗を対象としたエネルギー消費詳細計測

大規模総合店舗1軒、中規模食品小売店舗3軒、中規模生活用品（非食品）小売店舗1軒、コンビニエンスストア1軒を対象として、時刻別・用途別エネルギー消費量に関する詳細実測調査を行った。季節変動が大きな用途（空調や冷凍冷蔵など）は年間の長期計測を、時刻変動が大きな用途（コンセント負荷やバックヤードなど）は1週間程度の中期計測を、変動が小さな用途（照

明や換気など)は瞬時値の短期計測を行うことによって、得られた情報から店舗全体の電力消費を機能別に分解して評価した。また、冷設機器を有する小売店舗の店舗全体のエネルギー消費を予測するためには、冷設什器と店舗内環境との相互作用を定量化することが不可欠であることから、冷設什器の熱収支に関する詳細計測を行い、その結果を基に店舗全体のエネルギー需要予測モデルの構築を行った。

(2) 住宅

1) 住宅種別がエネルギー消費特性に及ぼす影響

数値モデル「SCIENCE vent」³⁾を用いて、住宅種別が空調・照明エネルギー消費特性に及ぼす影響を検討した。「SCIENCE vent」は図に示すように、屋外・室内風環境解析、屋外・室内放射環境解析、室内温熱環境解析の各パートで構成される。まず、屋外・室内風環境解析、屋外・室内放射環境解析を行い、室内気流速および窓面風圧係数、形態係数および天空率を算出する。これらのデータを基に、自然通風利用や空調などの室内温熱環境調節行為を時々刻々判断し、空調・照明エネルギー消費量の計算を行うものである。住宅種別に関する検討は、図2に示す戸建住宅(以下、戸建と記す)、集合住宅(以下、集合と記す)、長屋住宅(以下、長屋と記す)に対して行なった。

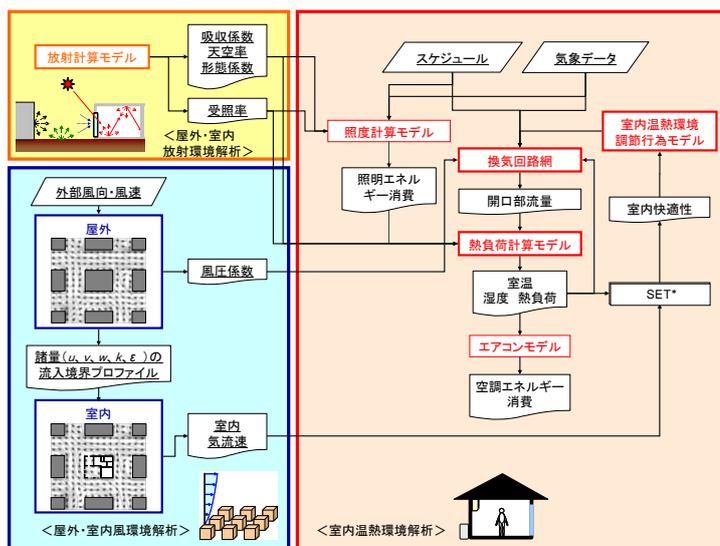


図1 「SCIENCE vent」の概要

の計算を行うものである。住宅種別に関する検討は、図2に示す戸建住宅(以下、戸建と記す)、集合住宅(以下、集合と記す)、長屋住宅(以下、長屋と記す)に対して行なった。



(a) 戸建住宅(左:2階、右:1階) (b) 集合住宅 (c) 長屋住宅(左:2階、右:1階)

図2 計算対象住宅の平面図

2) 住宅形態がエネルギー消費特性に及ぼす影響

上記1)と同じ数値モデルを用いて、住宅形態が空調・照明エネルギー消費特性に及ぼす影響を検討した。評価対象は都心高密度居住地区を想定し、高建蔽3階建て住宅を対象とした。評価対象住宅の間取りや周辺条件の変化がエネルギー消費特性に及ぼす影響について検討した。

4. 結果・考察

(1) 非住宅建築

1) 中小業務建物を対象としたポスティングアンケート調査

a. 事務所建物を対象とした解析

事務所建物について、一次エネルギー消費量原単位と延床面積の関係を図3に示す。図中にはIBEC（（財）建築環境・省エネルギー機構）によるDECC（非住宅建築物の環境関連データベース）調査結果（事務所建物のみ）¹⁾を示すと、本調査で得られた調査対象建物は概ね中小規模に集中しており、IBECによるDECC調査を補完する役割を果たしている。延床面積別にエネルギー消費量原単位を比較した結果を図4に示す。概ね2,000㎡を閾値としてそれ以上では特に定常分のエネルギー消費原単位が大きくなることわかる。延床面積の影響について、消費先別に一元配置の分散分析を行った結果、定常分については統計的な有意差は認められなかった。

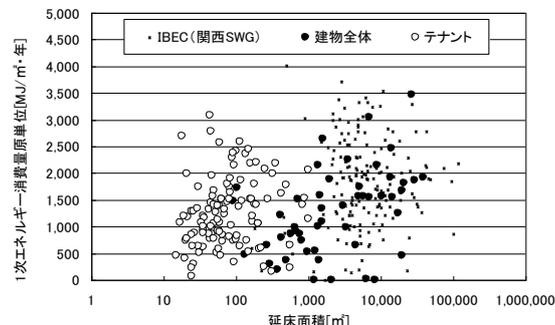


図3 エネルギー消費原単位（事務所建物）

b. 商業建物を対象とした分析

商業テナントについて、一次エネルギー消費量原単位と延床面積の関係を図5に示す。前項の事務所建物に比べて、一次エネルギー消費量原単位が全体的に大きいことわかる。なお、得られた回答は概ね2,000㎡未満であり、本調査で得られた調査対象建物は中小規模に集中しており、IBECによるDECC調査¹⁾を補完する役割を果たしている。業種別一次エネルギー消費量原単位を図6に示す。事務所に比べて業種間のばらつきが大きく、また業種内のばらつきも非常に大きいことわかる。このばらつきには建築仕様や設備仕様、建物使用状況などが影響を与えていると推測される。小売業47件のうち現地調査を行った25件について、年間一次エネルギー消費量原単位を目的変数とする重回帰分析を行い、アンケートおよび現地調査より得られた情報との関係性を分析した。この結果、「店舗規模」、「店舗フロア階数（何階に入居しているか）」、「看板照明容量」、「全体照明容量」、「冷設什器の有無」が有意な因子として選択された。

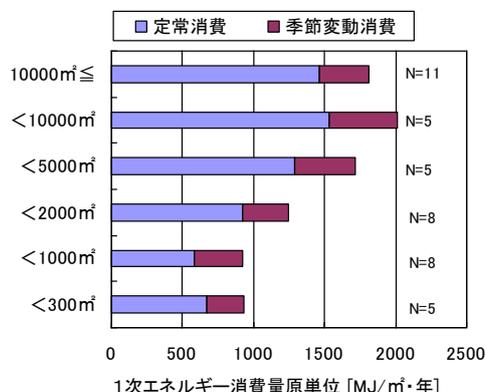


図4 規模別原単位（事務所建物）

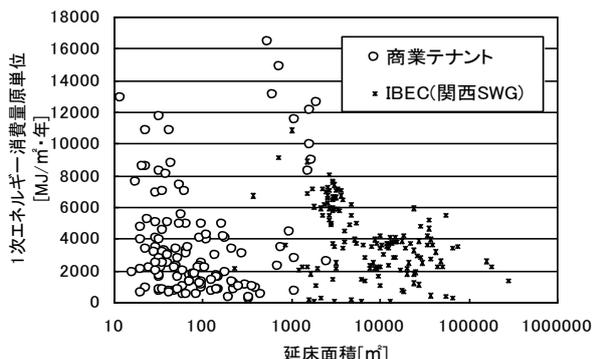


図5 エネルギー消費原単位（商業建物）

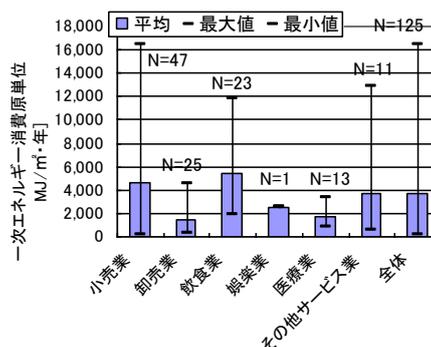


図6 業種別原単位（商業建物）

2) 食品小売店舗を対象としたエネルギー消費要因分析

図7に79軒の中規模総合小売店舗における単位売場面積あたりの年間一次エネルギー消費原単位を示すと、最小の480[MJ/m²・year]から最大の1630[MJ/m²・year]まで、最大で3倍程度の大きなばらつきが認められた。なお、平均値は928[MJ/m²・year]であった（図中右端の赤棒グラフ）。

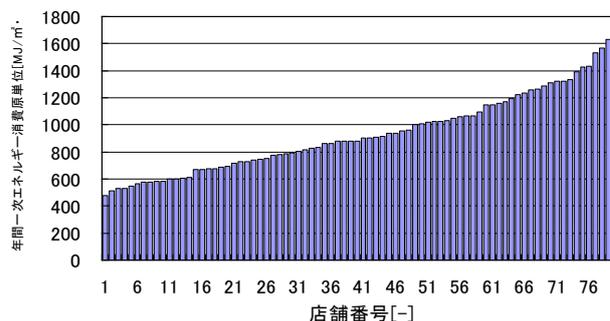


図7 中規模総合小売店舗の原単位のばらつき

上述の中規模店舗79軒に、小規模店舗51軒（売場面積500m²未満）、大規模店舗8軒（6,000m²以上）のサンプルを加えた計138店舗を対象として要因分析を行なった。単位売場面積あたり年間一次エネルギー消費原単位を目的変数、店舗属性を説明変数として重回帰分析を行った。

「年間合計一次エネルギー消費原単位（以降、年間合計消費と表記）」は2008年4月から2009年3月までの月別電力消費量・ガス消費量を一次エネルギー消費量に換算して年間積算し、売場面積で除した値である。全138軒を対象とした分析結果を示す。年間合計消費の最小値と最大値には5倍程度の大きなばらつきがあり、ばらつきの要因を検討するため各説明変数との相関関係を表1に示す。表2に年間合計消費を目的変数とする重回帰分析結果を示す。

表1 年間合計消費と各説明変数の相関関係

説明変数	相関係数	有意確率	説明変数	相関係数	有意確率
売場面積	-0.67	**	照明点灯時間	0.23	**
階数	-0.59	**	冷房設定温度	-0.12	
従業員数	-0.62	**	暖房設定温度	-0.12	
レジ台数	-0.56	**	食品売上率	0.55	**
改装経年	0.16		ガス空調	-0.07	
開店経年	-0.01		冷凍能力	0.77	**
営業時間	0.50	**	**有意水準1%、*有意水準5%		

表2 重回帰分析結果(全店舗:年間合計消費)

説明変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t値	有意確率
冷凍能力	44.94	0.52	6.04	**
営業時間	634.81	0.21	3.33	**
売場面積	-0.41	-0.21	-2.44	*
(定数)	933.06		0.39	

標準偏回帰係数は「冷凍能力」の値が最も大きく、小売店舗の年間合計消費は冷設什器の冷凍・冷蔵容量に大きく影響を受ける。次いで「営業時間」が選択され、「売場面積」が大きいほど年間合計消費は小さい。なお、売場面積が大きいほど単位売場面積あたりの冷凍能力は小さいという相関がある。図8に有意な説明変数と年間合計消費の相関関係を規模別に示す。小規

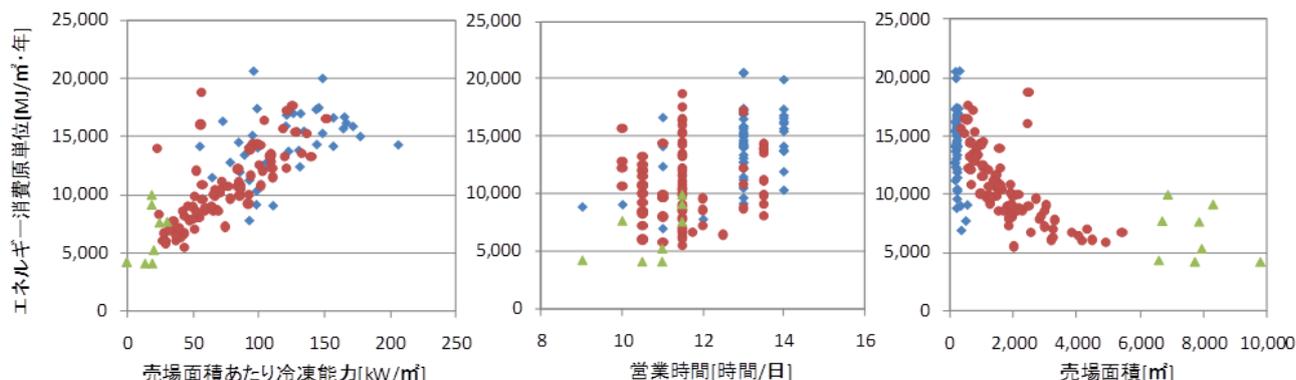


図8 各説明変数とエネルギー消費原単位の相関関係（左：冷凍能力、中：営業時間、右：売場面積）

模店舗と中規模店舗では売場面積と年間合計消費の相関には差があり、店舗規模によって店舗属性やエネルギー消費特性に違いがあると考えられる。これは、小規模店舗では営業時間に幅があることと、店舗規模が小さいながらも日用品を多く取り扱う店舗が存在することが要因である。

3) 小売店舗を対象としたエネルギー消費詳細計測

a. 代表的な中規模食品小売店舗を対象とした分析結果

表3に計測対象店舗の概要を、図9に店舗全体の日積算電力消費量と平均気温の日変動の関係（2009年1月から2010年1月末）を示す。電力消費量のピークは8月であり、11月から5月にかけては電力消費量がほぼ一定の値を示した。図10に日積算用途別電力消費量（2009年9月上旬平均と2010年1月上旬平均）を示す。夏季の電力消費量の増加に影響を強く及ぼしているのは冷設什器の動力（冷凍機の運転、什器近辺の足元ヒーターやデフロストヒーターなどに利用）であり、それ以外の用途については比較的季節変化が大きい。一方で、空調用途の割合が非常に小さいことがわかる。什器用途（ケース動力・電灯）は夏季には約3分の2、冬季には約半分を占めるが、空調用途は夏季には5%、冬季には10%を占めるにとどまった。

図11に用途別電力消費量の時刻変動（図10と同様の期間）を示す。対象店舗は21時30分に閉店した後、6時頃に準備のため作業を開始するが、閉店時間帯にも冷設什器（ケース動力・電灯）で多くの電力を消費している。図中に開店時間帯の単位時間あたり電力消費量に対する閉店時間帯の消費量（夜間率）を示しているが、冷設什器は開店時間帯の60%程度の値を示した。

表3 対象店舗の概要

項目	値	項目	値
エネルギー消費原単位 [MJ/m ² h]	817.1	従業員数 [人]	46
改装経年 [年]	1	階数 [階]	1
レジ台数 [台]	8	売上食品率 [%]	92
営業時間 [時間]	11.5	売場面積 [m ²]	1517

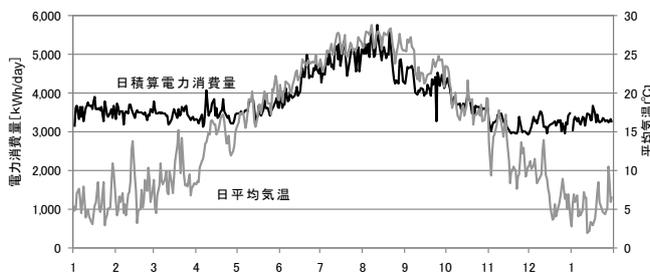


図9 店舗全体の日積算電力消費量と日平均気温（2009年1月から2010年1月）

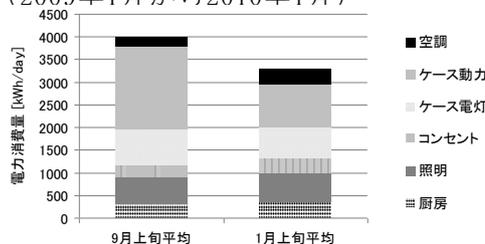


図10 日積算用途別電力消費

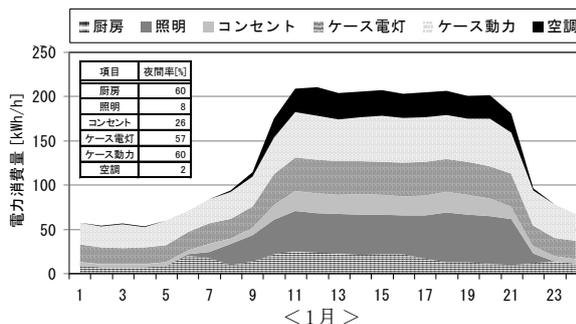
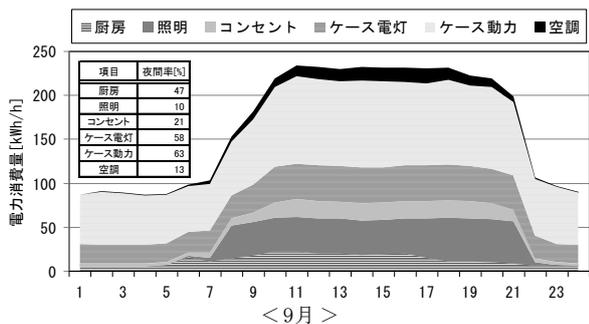


図11 用途別電力消費量の時刻変動および夜間率

図12に店内の開放型冷設什器（冷蔵ショーケース）とバックヤード冷蔵庫に関する冷蔵能力あたりの冷凍機電力消費量と外気温の関係を、それぞれ開店時と閉店時に区分して示す。バックヤードの冷蔵庫が店舗の状況によらずほぼ同様の傾向を示す一方で、開放型什器は開店時と閉店時の電力消費量の差が非常に大きく、概ね開店時の半分から3分の1程度の値を示した。これは、ナイトカバーの設置やナイトセットバック（設定温度緩和）などの省エネ対策や庫内照明負荷が無くなることによるものである。

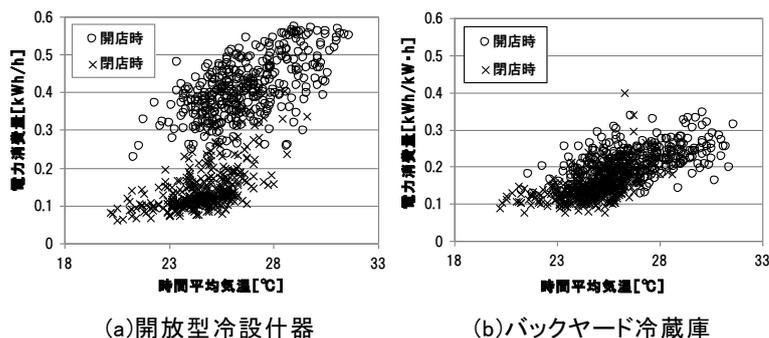


図12 冷凍機電力消費量と時間平均気温の相関（7月）

食品小売店舗（スーパーマーケット）の省エネ推進に対して、比較的新しい店舗では、店舗内の照明や空調機、冷凍機などは既に高効率化が図られており、これらの対策による省エネポテンシャルは小さい。しかしながら、冷設什器本体は来店客の利便性に配慮した多段開放型が主流であり、結果として多くの冷気漏れを発生することから、省エネに対する配慮が不十分である。やや機能面の質が低下しても、省エネポテンシャルが非常に大きい冷設什器周辺のエネルギー面に対する配慮が早急に望まれる。

b. 店舗形態の違いがエネルギー消費特性に与える影響

a) では典型的な食品販売スーパーマーケットである中規模食品小売店舗における詳細計測結果を示した。b) では店舗規模や提供サービスの違いがエネルギー消費特性に与える影響を検討すべく、大規模総合店舗や中規模生活用品小売店舗、コンビニエンスストアを対象として計測を行なった結果を示す。

図13に店舗規模がエネルギー消費特性に与える影響について、大規模店舗（7,877㎡）と中規模店舗（1,568㎡）を比較した結果を示す。

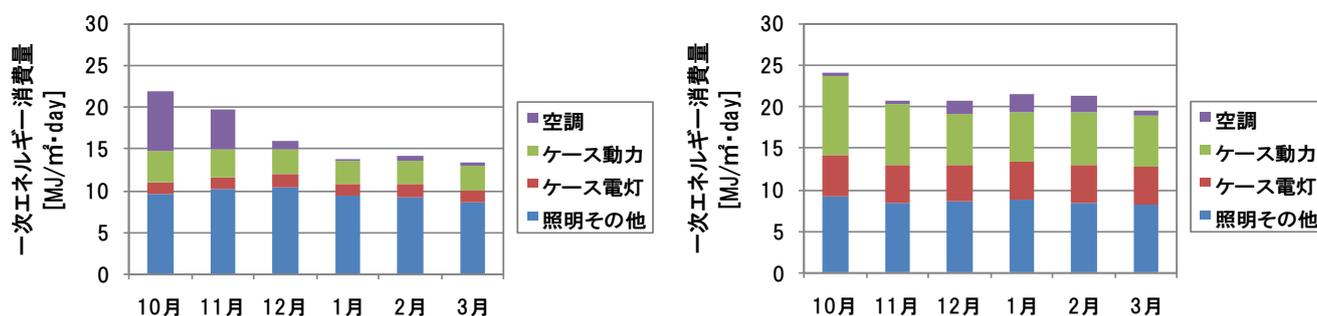


図13 小売店舗の店舗規模がエネルギー消費特性に与える影響（左：大規模店舗、右：中規模店舗）

「ケース動力」は冷設什器の冷凍機動力、「ケース電灯」はファン、防露ヒーター、冷設什器内の棚照明が主な用途である。食品売場が中心の中規模店舗では冷設什器の影響が支配的であり冷房負荷が少なく、暖房負荷が大きくなる。衣料品売場・住関連品売場の面積率が大きな

大規模店舗では冷設什器の影響を受ける範囲が小さいため冷房負荷が大きく、暖房負荷が小さくなる。

図14に業態の違いがエネルギー消費特性に与える影響について、非食品小売店舗とコンビニエンスストアを比較した結果を示す。非食品小売店のエネルギー消費特性は非常にシンプルであり、事務所建物と同様の時刻変動を示している。一方で、コンビニエンスストアに関しては、冷設什器の影響が大きいことや、図11の中規模食品小売店舗と比較して夜間のエネルギー消費量が非常に多いことがわかる。

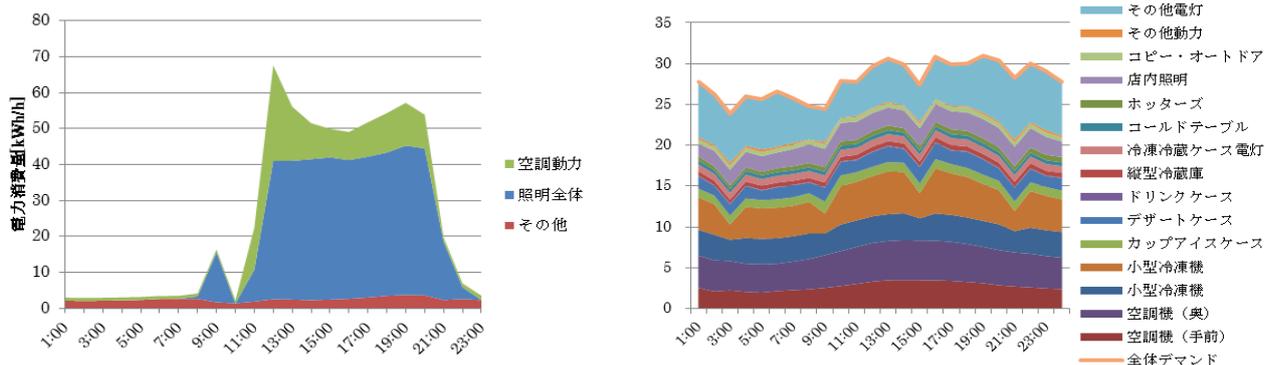


図14 店舗業態の違いがエネルギー消費特性に与える影響（左：非食品小売店舗、右：コンビニ）

図15に本サブグループが研究期間中に収集したエネルギー特性データのカテゴリを示す。平成20年度には、主に小規模テナントや個人店舗を中心に月別のエネルギー消費データを収集した。平成21年度から平成22年度にかけては、コンビニエンスストアから大規模総合スーパーマーケットまでについて、月別エネルギー消費データのみならず、時刻別・用途別エネルギー消費データの収集に努めた。これによって、小売店舗の各カテゴリにおいて、季節変動から時間変動まで、さらには用途分解されたデータを収集することが可能となり、よりきめ細やかな地域エネルギー量の把握や数値シミュレーションの検証データとして活用できることには大きな意義があると考えられる。

図15 本サブグループで収集したエネルギー特性データ

主な取扱商品	規模(業態)				
	個人店	コンビニ	専門スーパー	総合スーパー	百貨店
食料品取扱店	H20年度調査	H22年度調査	H21年度調査	H22年度調査	IBEC
衣料品・住関連専門店			H22年度調査		

c. 冷設什器の処理熱負荷推定を目的とした熱環境計測

a. およびb. で示したように、食品小売店舗のエネルギー消費特性には冷設什器の影響が大きく、冷設機器を有する小売店舗の店舗全体のエネルギー消費を予測するためには冷設什器と店舗内環境との相互作用を定量化することが不可欠である。そこで、本項では冷設什器の熱収支



多段開放型	多段開放型	平台開放型	多段閉鎖型
冷蔵(低温)	冷蔵(高温)	冷凍	冷凍
+2°C	+8°C	-20°C	-20°C

図16 測定対象冷設什器（ショーケース）

に関する詳細計測を行なった。図16に測定対象とした冷設什器を示す。測定対象は、冷蔵について高温（8℃）および低温（2℃）の多段開放型什器、冷凍について平台開放型および多段閉鎖型什器（いずれも-20℃）とした。

冷設什器庫内等温度と店舗内室温、什器補機動力の計測結果を基にして什器内外の置換空気率を各什器形状・用途に対して推計し、置換空気率から推計した外気負荷（店舗室内空気と冷設什器庫内空気の混合および店舗内からの放射に伴う）と補機動力を加算することによって冷設什器の処理熱負荷を推計した。図17に各ケースの外気負荷時刻変動推定結果を示す。多段開放型は冷蔵にも関わらず、開店時間帯の外気負荷が非常に大きく、多くの冷気漏れが生じる一方で、冷凍の平台開放型や多段閉鎖型は冷気漏れが少ないことが示される。

外気負荷の大きな開放式什器に関しては、上記で求めた処理熱負荷と測定された冷凍機電力消費量から冷凍機COPを外気温段階に応じて負荷率を変数とする回帰式で表現し、時々刻々の電力消費量を推計した。図18に店舗全体の冷設機器に関する年間を通しての電力消費量の推定値と実測値との比較結果を示す。結果として、概ね推定値と実測値は良く一致した。図中のその他動力には除霜ヒーターや冷凍庫の防露ヒーター、コールドアイル解消のための足下ヒーターなどを含んでいる。図19に什器形態や設定温度

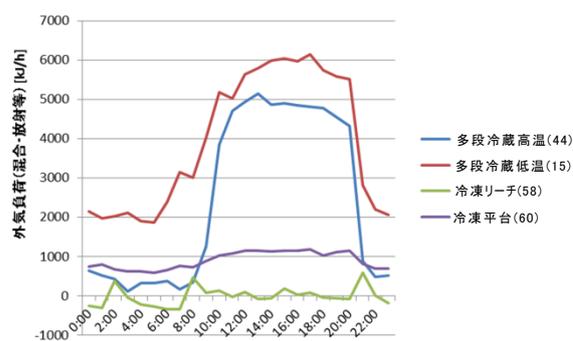


図17 各ケースの外気負荷時刻変動

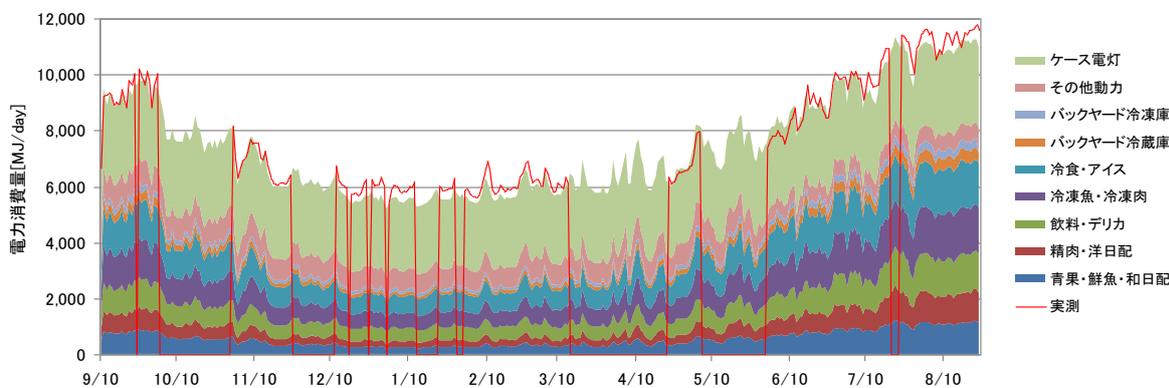


図18 店舗全体の冷設機器に関する電力消費量の推定値と実測値の比較

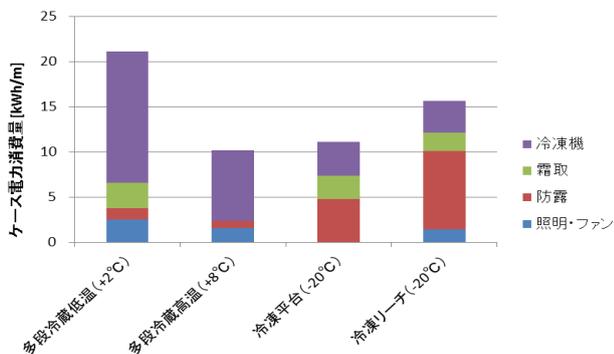


図19 各ケースの電力消費量（幅1mあたり）

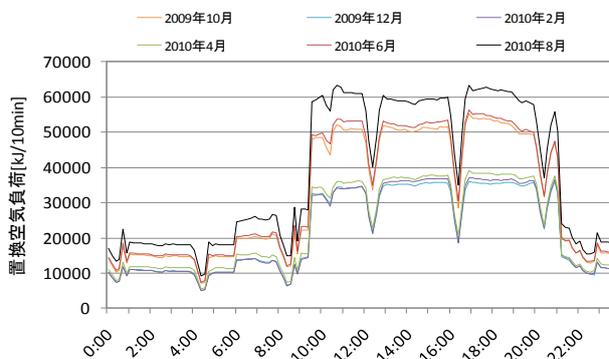


図20 開放式冷設什器の外気負荷（店舗全体）

度別の各ケース電力消費量を示すと、多段開放型は冷蔵にも関わらず外気負荷の増大によりケース電力消費量が大きな値を示した。また、冷凍に関して、多段閉鎖型（リーチイン）は外気負荷が非常に少ないものの、前面ガラス等の防露に掛かる電力消費量が大きいため、開放型である平台と比較して電力消費量が大きな値を示す結果となった。

図20に店舗全体の開放式冷設什器の外気負荷を示す。店舗開店時には多くの外気負荷が発生しており、年間を通じた冷設機器の動力量に多大な影響を与えるだけでなく、冬季には暖房との混合損失の発生や、夏季にはコールドアイルの発生など、エネルギーの浪費のみならず店舗内環境に多大な悪影響を生じていることが予想される。ここで得られた外気負荷計算結果を、建築空調熱負荷計算モデルの内部発熱負荷として考慮することによって、冷設什器の冷気漏れを考慮した建物全体の空調エネルギー消費量を予測することが可能となる。

(2) 住宅

住宅に関しても、非住宅建築と同様にエネルギー消費実態に関する調査が多く行われているが⁵⁾⁶⁾、住宅のエネルギー消費構造は非住宅建築と比較して、特にその形態や周辺街区状況などによって影響を受けることが予想されるものの、各条件に応じた詳細な情報は十分に蓄積されていない。そこで、本サブグループでは住宅の種別や形態、周辺状況がエネルギー消費特性に与える影響について、数値予測モデルにより種々の検討を行う。

1) 住宅種別の違いが省エネルギー対策効果に及ぼす影響

個別省エネルギー対策の性能評価結果について、代表して戸建の空調・照明エネルギー消費量の結果を図21に示す。また、住宅形態の比較に関して、各対策実行時のカテゴリごとの空調・照明エネルギー消費量の結果を図22に示す。

「標準条件」では、戸建は外壁面積が大きく、開口部も多いため空調エネルギー消費量は集合、長屋と比べて多くなった。長屋や集合では両隣が住戸であるため暖房エネルギー消費量が戸建と比較して少なくなり、冷房と暖房のエネルギー消費量は同程度であった。集合においては南にバルコニー、北に廊下があるため室内への日射の進入が少なくなり照明エネルギー消費量は多くなった。また、3階と5階を比較すると5階においては屋上面からの熱負荷により空調エネルギー消費量は多くなり、照明エネルギー消費量は少なくなった。

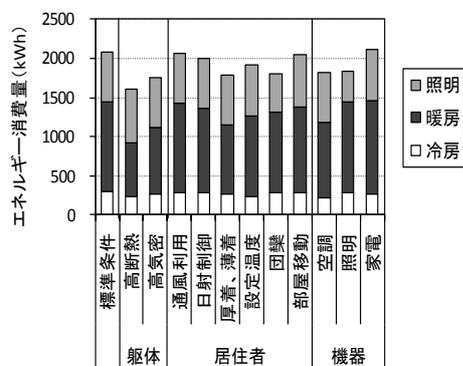


図21 個別対策のエネルギー消費削減効果 (戸建住宅)

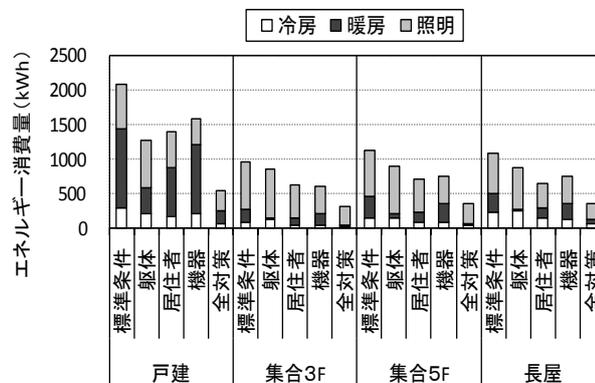


図22 各対策実行時のエネルギー消費量

「躯体対応」では、外壁割合の大きい戸建てで積算エネルギー消費削減率が大きくなり、次いで集合5階や長屋で削減率が大きくなり、集合3階では小さくなった。集合や長屋においては高断熱高気密化により内部発熱が外へ逃げにくくなり、冷房エネルギー消費量は増加する結果となった。「居住者対応」では、団欒による照明エネルギー消費削減効果の特徴と空調設定温度緩和の効果が大きく現れ、長屋で積算エネルギー消費削減率が最も大きく、以下、削減率の大きい順に集合5階、集合3階、戸建てという結果となった。団欒の効果は積算エネルギー消費量に占める照明エネルギー消費量の割合の大きい集合や長屋で大きくなり、空調設定温度緩和の効果は空調エネルギー消費割合の大きい戸建てで大きくなるという結果であった。「機器対応」では、高効率照明機器の導入の効果が大きく現れ、集合3階で積算エネルギー消費削減率が最も大きくなった。「全対策」では、「躯体」で他の住宅と削減率の差が大きかった戸建てで最も削減率が大きくなった。

表4 エネルギー達成可能性評価結果

住宅条件	PV容量	年間発電量 (kWh)	ネットゼロエネルギー達成率(%)				
			ベース	建物仕様	居住者	機器	全対策
戸建	4.4kW	4625	72	82	80	91	115
	8.8kW	7400	115	131	129	146	184
集合 (中間)	2.7kW	2294	45	46	48	57	62
	4.2kW	2794	55	56	59	70	75
長屋	2.9kW	3051	59	61	64	73	81
	5.8kW	4874	94	97	102	117	130

2) ネットゼロエネルギー達成可能性評価

1) の空調・照明エネルギー消費量に関する検討に加え、他の用途のエネルギー消費量、PV発電量を考慮してネットゼロエネルギー達成可能性の検討を行う。なお、本研究ではネットゼロエネルギーを「PV発電量がエネルギー消費量を上回ること」と定義した。

表4に住宅形態ごとのネットゼロエネルギー達成可能性評価結果を示す。表は各住宅形態についてPV容量が2条件（容量大小）設定されている。

戸建住宅の結果について、PV容量が小さい場合にはベースはもちろん、各カテゴリー単独の対策導入ではゼロエネルギーを達成していない。「建物仕様」、「居住者行動」、「高効率機器」の全てを導入することでようやくゼロエネルギーを達成することがわかる。PV容量が大きい場合にはベース条件でもゼロエネルギーを達成した。

集合住宅の結果に関しては、いずれの対策を導入しても、PV容量を大きくしても、ゼロエネルギーを達成しないことがわかる。集合住宅は戸建住宅と比較して一戸あたりのエネルギー消

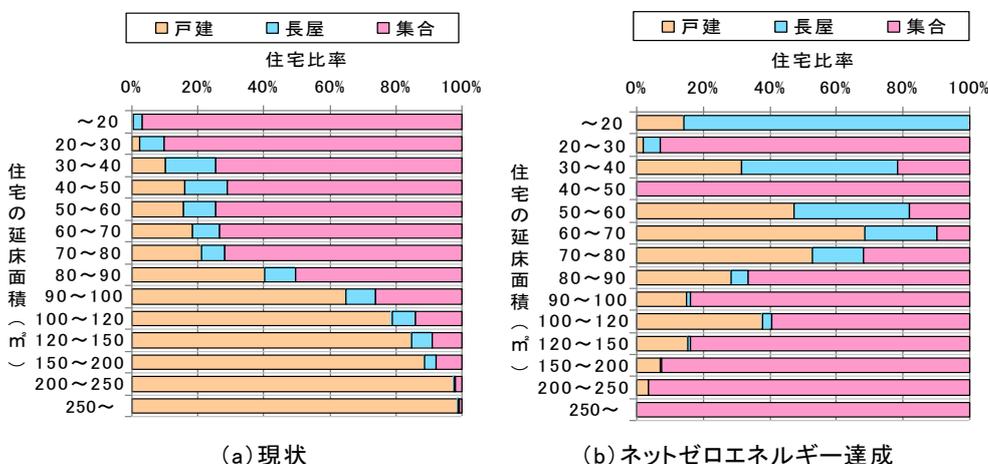


図23 各個別建物でネットゼロエネルギーを達成するために必要な都市住宅ストック（大阪市）

費量は小さいものの、一戸あたりのPV面積が小さいため、このような結果を示した。

長屋住宅の結果に関しては、戸建住宅とよく似た結果を示している。エネルギー消費量は戸建住宅よりも少ないが、PV設置可能面積も小さいために、PV容量が小さい条件ではいずれの場合においてもゼロエネルギーを達成していない。PV容量が大きい条件では、対策の導入によってはゼロエネルギーを達成することが示された。

以上の結果から、戸建住宅ではネットゼロエネルギーを比較的達成しやすいが、特に集合住宅ではネットゼロエネルギーを達成しにくいことがわかる。ここで、図23の(a)に現状の大阪市における延床面積別の住宅形態割合を示すと、特に延床面積が小さい領域で長屋住宅や集合住宅の占める割合が大きいことがわかる。従って、現状の大阪市における住宅ストックでは、ネットゼロエネルギーを達成するストック割合が約30%にすぎない。そこで、各個別建物でネットゼロエネルギーを達成するために必要な都市住宅ストックを大阪市について検討した結果を図23の(b)に示す。ネットゼロエネルギー達成時と現状とを比較すると、延床面積別住宅比率は現状では延床面積の小さな住宅は集合が多く、大きな住宅は戸建が多かったが、ネットゼロエネルギー達成時は延床面積の小さな住宅と大きな住宅は集合の比率が大きく、中程度の延床面積の住宅は戸建や長屋が多くなった。

3) 住宅形態の違いが省エネルギー対策効果に及ぼす影響

図24に示す標準の間取り設定に対して、住宅の間取りや街区形状を変更した場合にエネルギー消費特性や省エネルギー対策効果に及ぼす影響について検討を行なった。なお、本項では都心高密度地区に存在する典型的な3階建て戸建住宅を対象に評価を行なった。間取りに関しては、ほぼ延床面積が同じであるが間取りが大きく異なる5軒の建物を計算対象とした。街区形状については、建蔽率や周辺建物高さなどを変更した10条件を設定した。

図25に間取りならびに周辺街区形状に関する感度分析結果を示す。図24に示す標準的な間取り設定に対して、ほぼ延床面積が同じであるにも関わらず、リビングの設置階や方位、開口位置などが影響して非常に大きなばらつきを生じている。また、街区形状については、10%程度の幅が認められるものの、間取りと比較するとその影響は小さいことがわかる。

図26に街区形状および間取りに対する配慮がエネルギー消費に及ぼす影響について検討した結果を示す。街区形状、間取りのいずれも、図25で示した感度分析結果を基に設定した、最もエネルギー消費量が少なくなる省エネルギー街区形状、省エネルギー間取りの導入効果を評価している。結果として、典型的な標準条件に対して、省エネルギー街区形状に変更することにより3%、省エネルギー間取りに変更することにより26%のエネルギー消費量（空調・照明）が減少した。また、建物の両側を隣接建物と共有する長屋型への変更により46%減少した。以上の結果を基にして、ネットゼロエネルギー達成可能性評価を2)と同様の手法により行なった。評価結果を図27に示す。主に間取りに対して配慮

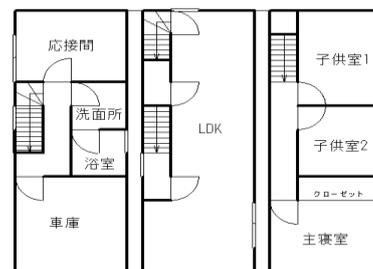


図24 標準の間取り設定

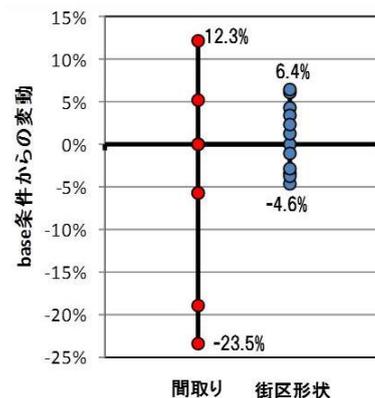


図25 感度分析結果

することによって、建物全体の9%のエネルギー消費量を削減している。しかしながら、建物面積が小さく、PV設置可能面積が小さいことからゼロエネルギー達成率は80%強にとどまった。

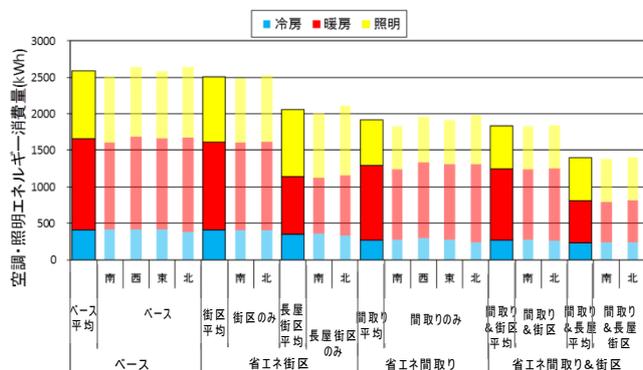


図26 街区形状および間取りに対する配慮がエネルギー消費に及ぼす影響表4ネ表4 エネルギー

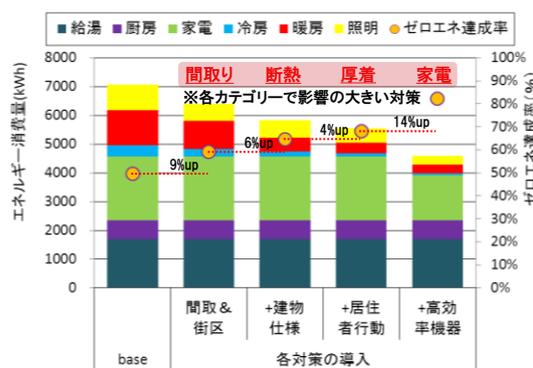


図27 ネットゼロエネルギー達成可能性評価（間取り・街区形状を考慮）

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

非住宅建築に関しては、実態が十分に把握されていなかった中規模食品スーパーマーケットのエネルギー消費構造を解明するための各種データベースを構築した。本調査から、食品売上率や店舗規模によりエネルギー消費原単位は大きく変化するため、エネルギー消費原単位で店舗の省エネルギー性能を評価することが難しいことを示した。また、時刻別・用途別のエネルギー消費特性を詳細に把握した結果から、店舗全体に与える影響が大きく、効果的な省エネ対策を優先的に実施する必要があることを示した。さらに、コンビニエンスストアから大規模総合スーパーマーケットまでの各類型別に用途別・時刻別のエネルギー消費データベースを拡張し、十分に実態が把握されていなかった小売店舗のエネルギー消費特性について全貌を評価することができた。また、冷設什器の熱収支に関する詳細計測結果を基にして、冷設什器のエネルギー消費予測モデルを構築した。これにより、冷設什器自体のエネルギー消費予測を可能とするとともに、什器からの冷氣漏れを考慮した店舗全体のエネルギー消費予測モデルを構築することが可能となった。

住宅に関しては、住宅形態や周辺街区状況がエネルギー消費特性に及ぼす影響、すなわちモルフロジーという新たな視点からエネルギー消費特性評価を試みた。数値モデルを用いた評価結果から、省エネ対策レベルと太陽光発電量の関係を整理することで、各住宅形態でネットゼロエネルギーを達成する条件を示した。また、全住戸がネットゼロエネルギーを達成するためには、現状から都市の住宅ストックを大きく変革させる必要があることを示した。さらに、住宅間取りや周辺環境条件に着目し、間取りや周辺環境条件がエネルギー消費量に与える影響を定量化し、特に間取りに関してはエネルギー消費量に大きな影響を与えることを示した。

(2) 地球環境政策への貢献

今後、中小規模非住宅建築および住宅のエネルギー消費実態を踏まえた実効性のある環境負荷削減に貢献することに努める。

6. 引用文献

- 1) 財団法人建築環境・省エネルギー機構：非住宅建築物の環境関連データベース検討委員会報告書，2009
- 2) 資源エネルギー庁：平成20年度省エネ法改正の概要
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/080801/080801.htm>，（アクセス日2009.10.10）
- 3) 羽原宏美，鳴海大典，小林誠治，下田吉之，水野稔：自然通風を行う住宅の室内温熱環境および空調エネルギー消費予測手法の開発，日本建築学会環境系論文集，No. 582，pp. 107-114，2004. 8
- 4) 日本スーパー名鑑2010，（株）商業会，2010. 1
- 5) 村上周三，坊垣和明，田中俊彦，羽山広文，吉野博，赤林伸一，井上 隆，飯尾昭彦，銚井修一，尾崎明仁，石山洋平：全国の住宅80戸を対象としたエネルギー消費量の長期詳細調査対象住宅の属性と用途別エネルギー消費量，日本建築学会環境系論文集，第603号，pp. 93-100，2006. 5
- 6) 澤地孝男，坊垣和明，吉野博，鈴木憲三，赤林伸一，井上 隆，大野秀夫，松原斎樹，林徹夫，森田大：用途別エネルギー消費量原単位の算出と推定式の作成 全国的調査に基づく住宅のエネルギー消費とライフスタイルに関する研究(第1報)，日本建築学会計画系論文集，第462号，pp. 41-48，1994. 8

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない

(2) 口頭発表（学会）

- 1) 豊田琢磨，山口容平，鳴海大典，下田吉之：中小規模事務所建築におけるエネルギー消費実態とその構造の分析，空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，2009. 3
- 2) 白石かおり，山口容平，鳴海大典，下田吉之：中小規模商業店舗におけるエネルギー消費実態調査，空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，2009. 3
- 3) Takahiro UEMOTO, Daisuke NARUMI and Yoshiyuki SHIMODA : Comparison of Effects of Various Countermeasures on Energy Consumption in a Residential Building, PLEA, 2009. 5
- 4) 和田光，植本孝広，鳴海大典，下田吉之：共同住宅の省エネルギーポテンシャルに関する感度分析，日本建築学会近畿支部研究報告集，第49号（環境系），2009. 6
- 5) Daisuke NARUMI, Takahiro UEMOTO and Yoshiyuki SHIMODA : Development of a Method to Estimate Energy Consumption in Residential House Considering the Influence of Exterior Condition and Occupant Behavior - Comparison of Effects of Various Countermeasures

- on Energy Consumption in a Residential Building -, ROOMVENT, 2009.6
- 6) 白石かおり, 鳴海大典, 山口容平, 下田吉之, 村上周三:小売店舗のエネルギー消費構造に関する実態調査, エネルギー・資源学会研究発表会, No. 29, 2010.6
 - 7) 豊田琢磨, 山口容平, 鳴海大典, 下田吉之, 村上周三:低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言(第2報)事務所ビルにおけるエネルギー消費実態と構造分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 2009.8
 - 8) 白石かおり, 山口容平, 鳴海大典, 下田吉之, 村上周三:低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言(第3報)小規模商業店舗におけるエネルギー消費実態調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 2009.8
 - 9) 白石かおり, 山口容平, 鳴海大典, 下田吉之, 村上周三:低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言(第3報)小規模商業店舗におけるエネルギー消費実態調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 環境工学D-1, 2009.8
 - 10) 豊田琢磨, 山口容平, 鳴海大典, 下田吉之, 村上周三:低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言(第2報)事務所ビルにおけるエネルギー消費実態と構造分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 環境工学D-1, 2009.8
 - 11) 和田光, 植本孝弘, 鳴海大典, 下田吉之:集合住宅の省エネルギーポテンシャルに関する感度分析(その2)階数や建物配置状況の違いが省エネルギーポテンシャルに与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 環境工学D-1, 2009.8
 - 12) 植本孝弘, 和田光, 鳴海大典, 下田吉之:集合住宅の省エネルギーポテンシャルに関する感度分析(その1)階数や建物配置状況の違いがエネルギー消費量に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 環境工学D-1, 2009.8
 - 13) 和田光, 鳴海大典, 下田吉之, 村上周三:街区形態が住宅の空調・照明エネルギー消費量に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 2009.8
 - 14) 白石かおり, 山口容平, 鳴海大典, 下田吉之, 村上周三:低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言(第3報)中小規模商業店舗におけるエネルギー消費実態調査, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 2009.9
 - 15) 山口容平, 鳴海大典, 下田吉之, 村上周三:低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言(第2報)事務所ビルの建物属性がエネルギー消費原単位に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 2009.9
 - 16) 植本孝弘, 和田光, 王蘇亜, 鳴海大典, 下田吉之:自然エネルギー利用を考慮した住宅の省エネルギーポテンシャルに関する研究(その2)各種省エネルギー対策のポテンシャル比較, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 2009.9
 - 17) 和田光, 植本孝弘, 王蘇亜, 鳴海大典, 下田吉之:自然エネルギー利用を考慮した住宅の省エネルギーポテンシャルに関する研究(その1)戸建および集合住宅のエネルギー消費量に関する解析, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 2009.9
 - 18) 鳴海大典, 白石かおり, 山口容平, 下田吉之, 村上周三:小売店舗における店舗形態がエネルギー消費特性に及ぼす影響, 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, No. 26, 2010.1
 - 19) 王蘇亜, 植本孝広, 和田光, 鳴海大典, 下田吉之, 村上周三:低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言(第10報)住宅における省エネルギー対策評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), 環境工学D-1, 2010.9
 - 20) 和田光, 植本孝広, 王蘇亜, 鳴海大典, 下田吉之, 村上周三:低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言(第11報)ネットゼロエネルギー達成可能性の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), 環境工学D-1, 2010.9
 - 21) 白石かおり, 鳴海大典, 山口容平, 下田吉之, 村上周三:低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言(第12報)食料品スーパーマーケットにおけるエネルギー消費構造の実態把握, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), 環境工学D-1, 2010.9

22) 鳴海大典, 白石かおり, 山口容平, 下田吉之, 村上周三:小売店舗の省エネルギー対策評価に関する研究(その1)冷凍冷蔵設備を有する小売店舗のエネルギー消費特性とモデル化に関する検討, 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, No. 27, 2011. 1

23) 鳴海大典, 白石かおり, 山口容平, 木村道徳, 下田吉之:小売店舗の省エネルギー対策評価に関する研究(その2)近畿圏を対象とした小売店舗のエネルギー需要モデルと対策評価, 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, No. 27, 2011. 1

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム, セミナーの開催 (主催のもの)

特に記載すべき事項はない

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

(6) その他

特に記載すべき事項はない