小規模建築のエネルギー消費及び温熱環境に関する研究

事務所建築を中心としたエネルギー消費実態分析と評価方法の考察

STUDY ON ENERGY CONSUMPTION AND THERMAL ENVIRONMENT OF SMALL BUILDINGS

The analysis and the evaluation method of energy consumption about office buildings

棚原 勝*, 川瀬 貴晴**, 瀧 巖***, 田原 雄一郎****

*Masaru NAGIHARA, Takaharu KAWASE, Iwao TAKI
and Yuichirou TAHARA*

Today, the reduction of energy consumption is a national critical issue. The saving energy in buildings has become a burning question, and many buildings adopt the energy-saving technologies now. However, small buildings less than 2000m² in total floor area seem to be still backward in saving energy, and very little energy consumption data of these buildings was made public. This paper shows the data of energy consumption and the thermal environment of these buildings through field studies for three years. When the data of small buildings investigated this time is compared with the data of large buildings that has already been made public, there are different features in small buildings and large buildings.

Keywords : *Energy consumption , Thermal environment , Small buildings , Saving energy , Time of use , Evaluation method*

エネルギー消費量 , 温熱環境 , 小規模建築 , 省エネルギー , 使用時間 , 評価方法

1. 序論

1.1 研究背景

近年、エネルギー消費量の削減は国家的重要課題となってきた。特に建築分野のエネルギー量削減は喫緊の課題である。わが国では「エネルギーの使用の合理化に関する法律」(以下、省エネ法)が1979年に施行されたが、その後、二酸化炭素の排出による地球温暖化への対応が求められるようになり、建築分野にかかわる省エネ法も、1992年、1999年に大きく改正されている。さらに2010年4月からは大中規模建築だけでなく延床面積300m²以上の小規模建築についても省エネ計画書を提出することになった。(以下本研究では延床面積2000m²未満の建物を小規模建築、延床面積2000m²以上の建物を大中規模建築と呼ぶ。)これまで省エネ法の対象建物が2000m²以上であったことから大中規模建築を中心とした環境測定や省エネ対策は進んできており、ビルエネルギー総合管理技術協会のデータや最近(社)日本サステナブル建築協会の非住宅建築物の環境関連データベース(DECC)も充実しつつある^{1)~3)}。しかし、DECC開発時に行われた日本の建築に係るエネルギー消費データにかかわる既往研究調査⁴⁾でも指摘されているように、日本の建築ストック総量に対する捕捉率は極めて少なく、いずれのデータベースも守秘義務が課せられて、統計処理データのみの公表である。また、従来のデータは大中規模建築のアンケート調査が主体であり^{5)~7)}、エネルギー消費の内訳や室内環境

にかかわる実測データは少ない。これからは2000m²未満の小規模建築に対する省エネ対策の強化が大きなテーマになるが、その対策立案のためにも今までほとんど実態データが公表されていない小規模建築のエネルギー消費実態を把握することが急務になっている。また、2011年3月の震災後の電力削減や節電への社会的要請に応えるためにも、日本の建築床面積の過半を占める小規模建築にかかわるエネルギー消費実態、特に電力消費実態の公表が望まれている。

1.2 研究目的

建築の省エネ化のためには、空調機器や照明機器を効率よく運用するなどの対策を行う必要があるが、そのためにはまずエネルギーの使用状況を把握する必要がある。しかし、上に述べたように小規模建築(延床面積2000m²未満)のエネルギー使用実態に係わるデータはほとんど公表されておらず、まずこの使用実態の把握が重要となる。

本研究では、全国各地の小規模建築の、年間エネルギー消費量、季節別、日毎、時間毎の空調電力・照明電力・コンセント電力の消費量、室内温湿度などにかかわる調査・実測を行い、収集したデータから特に小規模事務所建築にかかわるエネルギー使用実態および温熱環境を把握することを目的とする。また、これらのデータを使用して、小規模事務所建築のエネルギー消費特性を評価・診断する方法を考察することを目的とする。

* 竹中工務店

** 千葉大学大学院工学研究科 教授・工博

*** 総合設備計画

**** 千葉大学大学院工学研究科 修士課程

Takenaka Corp.

Prof., Graduate School of Engineering, Chiba Univ., Dr. Eng.

Sogo Consultants

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Chiba Univ.

1.3 研究概要

1.3.1 実測概要

調査及び実測は2007年度から2009年度の3年間にわたり15地域・合計106棟において実施した(表1)^{8)~12)}。これらの建物の実運用下での使用状況を把握するため、夏期・冬期に1週間ずつ、建物全体の消費電力と代表フロア(対象建物の利用状況を代表すると考えられるフロア)の消費電力(30分間隔)、室内温湿度・外気温湿度(10分間隔)を計測した。また、各建物の3ヵ年分、月ごとの電力・ガス・石油等の使用量を調査した。

表1 調査建物

2007年度				2008年度				2009年度			
地域	用途	延床	原単位	地域	用途	延床	原単位	地域	用途	延床	原単位
宮城	事務所	215	1737*	鹿	事+スケート	622	5366	北海道	事務所	648	1221*
	事務所	276	1268		事務所	2079	1004		事務所	1187	1040
	事+工場	564	739		事務所	954	1292		駐車庫+事	3688	393
東京	製品検査所	400	3513	低	事務所	407	1055	秋田	事+工場	4312	1258
	事務所	212	1851*		事務所	1726	702		スーパー	1040	7484
	事務所	730	1461*		事務所	1279	1388		スーパー	1247	4143
三重	事務所	1260	1120	低	事務所	2217	1995	秋田	事+倉庫	1060	1083
	事務所	683	997		事務所	1591	1145		事務所	1156	698
	飲食店+事	952	1702		事務所	749	2220		事務所	1451	616
大阪	物販店+事	1100	1488	低	事務所	422	1232	東京	工場+事	5295	4337
	事務所	159	1870*		事務所	891	2463*		事務所	210	-
	事務所	1247	773		事務所	582	414*		事務所	2599	701
岡山	事務所	250	2182	低	事務所	580	519	東京	事務所	420	240*
	事務所	777	912		事務所	494	1398		事務所	1250	1384
	幼児施設	736	421		事+作業所	350	-		倉庫+事	1500	818
大阪	飲食+工場	605	1773	低	事務所	963	-	新潟	倉庫+事	2150	768
	事務所	596	1584		事+工場	720	415		事務所	759	-
	事務所	1088	1121	低	事務所	600	-	新潟	事務所	571	-
岡山	事+工場	1123	2007	低	事務所	1572	788*	新潟	事務所	1646	1157
	事務所	484	733	低	事務所	388	472	新潟	事務所	2187	1065
	事務所	1487	1747	低	物販店	588	2475	新潟	事務所	1008	784
福岡	事務所	865	961	低	物販店	485	3504	新潟	事務所	608	657
	保育園	685	-	低	事務所	604	992	新潟	事+倉庫	1345	291
	事務所	450	844	低	物販店	588	1862*	新潟	事+店舗	1598	2281
福岡	事務所	540	-	低	事務所	1765	796	新潟	飲食店	532	4488
	事務所	396	816	低	物販店	1448	1414	新潟	飲食店	494	4406
	学校	1229	1204*	低	事務所	1500	966*	新潟	公園管理棟	1133	1794
福岡	事務所	1473	-	低	事務所	1000	1473	新潟	工場	4678	1703
	文化施設	1495	1365	低	研究所	328	630	新潟	スーパー	1840	7506
	学校	2073	1060	低	研究施設	1140	728*	新潟	物販店	1948	1365
福岡	スポーツ施設	1331	1512	低	事務所	400	1719	新潟	事務所	1280	559
	公共施設	1853	673	低	事務所	800	1600	新潟	事務所	849	701*
	事務所	864	271	低	福祉施設	900	5525	新潟	病院	371	854
福岡	事務所	327	1768	低	教習所	1157	1439	新潟	事務所	185	1042
	事務所	327	1768	低	事務所	1090	913	新潟	事務所	295	236*
	事務所	327	1768	低	物販店	700	2909	新潟	事務所	1200	2716

事：事務所
延床：延床面積[m²](2500m²以上は分析から除く)
原単位：年間一次エネルギー消費量原単位[MJ/m²] *印は2006年度以外

表2 電力量計測器の仕様

項目	仕様
外形寸法	W450mm×H350mm×D150mm
電流センサ	分割型CT 合計16ch計測可能
電圧	AC100V/200V(50/60Hz) 単相2線/単相3線/三相3線
電流	500A/300A/50A/5A
動作範囲	0~50℃ 30~85%RH
データ収集用外部I/F	Ethernet(100/10BASE-T準拠) RJ-45(モジュラジャック)
消費電力	25VA以下
備考	質量9kg以下、据置型

表3 小型温湿度データロガーの仕様

項目	仕様
型番	DS1921G DS1923
測定項目	温度 温度+湿度
測定範囲	-40~+80℃ -20~+70℃ 0~95%RH
測定精度	±1℃ ±1℃ ±5%RH
測定解像度	温度 0.5℃ 湿度 0.5℃
容量	2048bytes 8192bytes

建物用途	事務所	店舗・飲食店	他
延床面積	~500 500~ 1000~ 1500~ 2000~		
階数	1 2 3 4 5 6~		
地域	北海道・東北 関東 中部・北陸 近畿 中国・四国・九州・沖縄		
竣工年	1970~ 1980~ 1990~ 2000~		
構造	~1970年 S RC SRC 他		
空調	電力のみ 電力+石油		
空調形式	個別式パッケージ 他		

図1 建物属性

1.3.2 機器概要

(a) 電力量計測

詳細な電力量計測のために電力量センサ、データを記録・蓄積するwebサーバを内蔵した電力量計測器(表2)を使用した。計測点は建物全体の電灯用電力・動力用電力(屋外キュービクル等)と代表フロアの空調電力・照明電力・コンセント系電力(分電盤等)である。

(b) 温湿度計測

実運用状況下で執務者の業務に支障をきたさず、連続的な計測を行うために小型温湿度データロガー(表3)を採用した。約1.6cmのステンレス缶に温度(湿度)センサ、データログメモリ、カレンダー/クロックを内蔵したコンピュータチップと電池を内包している。本実測では代表フロア室内に10点前後を床面上600mmの位置に設置した。また外気温湿度測定のため直射日光が当たらず熱がこもらない適当な屋外に1点設置した。

2. 小規模建築の年間エネルギー消費実態

2.1 調査建物の属性

図1に調査した106件の建物属性を示す。属性として多いものは、建物用途では事務所の62%、延床面積では500~1000m²の31%、階数は2階の42%となった。また空調使用エネルギーは電力のみが78%、空調形式は個別式パッケージが81%となった。

2.2 建物用途別エネルギー消費実態

図2に今回調査した小規模建築における2006年度の単位面積あたり年間一次エネルギー消費量(以後、原単位とする)を建物用途別に示す。2006年度のエネルギーデータが得られなかった建物及び延床面積が2500m²以上の建物は分析対象から除外した。また参考として公表^{注1)}されている大規模建築(延床面積2000m²以上)のデータを示す(以下、大規模建築の参考データとしてはこの資料を使用する)。原単位の平均値は合計消費量÷合計延床面積で求める。熱量換算は表4の数値を用いた。全建物の平均値は小規模建築1630MJ/m²・年、大規模建築2241MJ/m²・年であり、小規模建築は大規模建築の約73%の値となった。大規模建築ではエネルギー消費量原単位はデパート・スーパー

図2 建物用途別 年間一次エネルギー消費量原単位

表4 熱量換算表

種別	電気	天然ガス	都市ガス	ガソリン	灯油	軽油	A重油
熱量換算値	9.76	41.023	※	35.162	37.255	38.511	38.930
換算単位	MJ/kWh	MJ/m ³	MJ/m ³	MJ/L	MJ/L	MJ/L	MJ/L

※都市ガスについては各ガス事業者の供給ガス熱量を参照

病院、店舗・飲食店等で大きく、利用者の多い建物や設備・電気機器を多く用いる建物で大きい傾向が見られる。事務所用途では小規模事務所 1146MJ/㎡・年、大中規模事務所 1856MJ/㎡・年であり、小規模建築は大中規模建築の約 62%の値となった。

2.3 延床面積別エネルギー消費実態

2.3.1 延床面積と一次エネルギー消費量の関係

(a) 延床面積 2000 ㎡以上の中規模建築（事務所）

図 3 に延床面積 2000 ㎡以上の中規模事務所における延床面積と年間一次エネルギー消費量のグラフを示す。このグラフより延床面積とエネルギー消費量との間に相関性がみられる。図中の破線で囲った部分が本研究での解析対象である。

(b) 延床面積 2000 ㎡未満の小規模建築（全用途・事務所）

図 4 に実測建物の延床面積と年間一次エネルギー消費量の関係を示す(計 77 棟)。相関係数 R は 0.40 となった。一部のスーパーが高い値をとっており、全体のばらつきが大きくなっている。図 5 に実測建物のうち事務所用途（計 45 棟）の延床面積と年間一次エネルギー消費量の関係を示す。相関係数 R は 0.77 であり高い相関が見られる。このグラフの回帰直線から、延床面積 1 ㎡の増加につき建物の年間一次エネルギー消費量は平均で 1.16GJ 増加すると予測される。

2.3.2 延床面積と一次エネルギー消費量原単位の関係

前節より建物の延床面積と一次エネルギー消費量との間に相関があることがわかったが、本節では延床面積と一次エネルギー消費量原単位との関係性について分析する。

表 5 に実測建物(事務所)、大中規模建築(事務所)の年間一次エネルギー消費量原単位と延床面積ごとの相関係数を示す。ここでの相関係数は延床面積と年間一次エネルギー消費量原単位との相関の強さを表す。原単位は単純平均値[(ビル毎の消費量÷ビル毎の延床面積)]の合計を有効資料数で割ったものとする。10000 ㎡～25000 ㎡の間では 0.61 と高い相関だが、他の区間の相関係数は小さい。しかし表 5 の一次エネルギー消費量原単位に対応した図 6 のように全建物規模で見ると、延床面積が大きくなると年間一次エネルギー消費量原単位が大きくなる傾向が見られた。これは小規模事務所に比べて大中規模事務所では、運転時間が長いこと、環境水準が高く、導入されている設備・機器類が多いこと、事務所用途以外の用途と複合されやすいこと、などの要因によるものと思われる。このことは同時に行った室内環境実測において、小規模建築では加湿がほとんど行われていなかったことなどからも想定される。

2.4 季節・地域別エネルギー消費実態

図 7 に実測した小規模事務所と大中規模事務所における、地域ごと及び全国平均の年間一次エネルギー消費量原単位を示す。小規模事務所・大中規模事務所とも関東・近畿が大きくなった。

図 8 に小規模事務所における各地域・各季節のひと月あたりの 1 次エネルギー消費量原単位を示す。夏期を 6～9 月、冬期を 12 月～3 月、これら以外の月を中間期とした。例えば夏期は「6～9 月の合計値÷4」でひと月の 1 次エネルギー消費量原単位とした。また参考として大中規模事務所の値を示す。北海道や北陸では冬期の消費エネルギーが多く、九州や沖縄では夏期の消費エネルギーが大きくなる傾向が見られた。小規模事務所の全国平均では、中間期に比べて夏期は約 23MJ/㎡・月、冬期は約 12MJ/㎡・月大きい値となっており、これらは冷房・暖房用エネルギーの増分と推測される。大中規模事務所では中間期に比べ

図 3 延床面積と一次エネルギー消費量(大中規模事務所)

図 4 延床面積と一次エネルギー消費量（全用途）

図 5 延床面積と一次エネルギー消費量（事務所）

表 5 延床面積別 一次エネルギー消費量原単位

		小規模建築 (事務所)	大中規模建築 (事務所)				
		2000㎡未満	2000㎡以上 5000㎡未満	5000㎡以上 10000㎡未満	10000㎡以上 25000㎡未満	25000㎡以上 50000㎡未満	50000㎡以上
有効資料数	件	45	109	171	129	39	10
一次エネルギー 原単位 (単純平均値)	MJ/㎡・年	1141	1514	1601	1680	2201	2410
相関係数	R	0.02	0.52	0.42	0.61	0.15	0.32
標準偏差	σ	508	570	730	765	1115	1494

図 6 延床面積別 一次エネルギー消費量原単位

図7 地域別 一次エネルギー消費量原単位

図8 地域別 季節別 一次エネルギー消費量原単位

て夏期が約 $40\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{月}$ 、冬期が約 $9\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{月}$ 大きい値となっている。これより小規模事務所は大中規模事務所と比較して冷房エネルギー消費量原単位の増分は小さく、暖房エネルギー消費量原単位の増分は大きくなる傾向が見られた。小規模事務所は大中規模事務所と比較して冷房負荷は小さく、暖房負荷は大きくなる傾向が推測される。

3. 小規模事務所の週間エネルギー消費実態

この章では今回実測した小規模建築のうち、建物用途が事務所、かつ代表フロアの主用途が事務室の建物の分析を行う。

3.1 エネルギー消費量等の分布

3.1.1 事務室内温湿度

図9に代表フロア内事務室における夏期・冬期の平日9～17時の室内温度分布を示す。室内温度は夏期では平均 26.1°C 、冬期は平均 21.9°C であった。ほとんどの建物が建築物衛生法^{注2)}($17\sim 28^\circ\text{C}$)の範囲内となった。

図10に夏期・冬期の平日9～17時の室内湿度分布を示す。室内湿度は夏期では平均 53.5% 、冬期は平均 34.0% であった。夏期はほとんどの建物が建築物衛生法($40\sim 70\%$)の範囲内となったが、冬期は約8割の建物が建築物衛生法の範囲外であった。

図11に夏期・冬期の平日9～17時の室内温度の標準偏差の分布を

図9 室内温度

図10 室内湿度

図11 室内温度の標準偏差

表6 用語の説明

単語	説明
ビル動力	ビル全体のフロア空調の合計 例: 空調機、冷凍機、エレベータなど
ビル電灯	ビル全体のフロア照明、フロアコンセントの合計 例: 蛍光灯、パソコンなど
フロア空調	代表フロアの空調電力 例: 空調機など
フロア照明	代表フロアの照明電力 例: 蛍光灯など
フロアコンセント	代表フロアのコンセント電力 例: パソコン、電気ヒーター、タスク照明など

図12 概念図

図13 某ビルの一日のビル動力電力の変化

表7 用語の説明

単語	単位	説明
1日の電力量	$\text{Wh}/\text{m}^2\cdot\text{日}$	図13の灰色部の面積+斜線部の面積
ベース電力量	$\text{Wh}/\text{m}^2\cdot\text{日}$	図13の斜線部の面積 昼夜を問わず常時発生している電力量
ピーク電力	W/m^2	平日の消費電力の最大値(図14)
9-17時平均電力	W/m^2	平日の9時から17時までの平均消費電力(図14)
ベース電力	W/m^2	平日の消費電力の最小値(図14)

図14 某ビルの一週間のビル動力電力の変化

示す。この値は部屋の各所に設置した小型温湿度データロガーの温度のばらつきを示す。夏期では平均0.78℃、冬期は平均1.24℃となった。冬期の方が部屋の場所ごとに温度がばらついた。

3.1.2 1日の電力量

ここで用いる用語の説明を表6～7と図12～14に示す。図15に平日の1日の消費電力量の平均値をビル動力・ビル電灯別に示す。図の値はビル全体の消費電力を延床面積で割った値である。以後、空調に石油・ガスを使用する建物は集計から除く。夏冬平均ではビル電灯:ビル動力の比は1:1であった。ビル電灯系は夏期・冬期とも約220Wh/m²・日であった。ビル動力系は夏期と比較して冬期では減少した。1日の消費電力量のうちベース電力量が占める割合は、ビル電灯系が約28%、ビル動力系が約12%であった。

図16に平日の1日の消費電力量の平均値をフロア空調・フロア照明・フロアコンセント別に示す。図の値は代表フロアの電力をフロア面積で割った値である。夏冬平均では空調:照明:コンセントの比は2:1:1となった。フロア照明は夏期・冬期とも約130Wh/m²・日であった。フロアコンセントは夏期と比較して冬期は増加しているため、一部の建物では冬期にコンセント電力を使用して電気ヒーターによる暖房を行っている可能性がある。フロア空調は夏期と比較して冬期では減少した。1日の消費電力量のうちベース電力量が占める割合は、フロア照明が約2%、フロアコンセントが約34%、フロア空調が約5%となった。これよりベース電力の削減にはフロアコンセント系の対策が有効と推測できる。

表8～10に年間一次エネルギー消費量原単位[MJ/m²・年]と平日の電力消費量[Wh/m²・日]の相関係数を系統別に示す。夏期のビル合計(ビル動力+ビル電灯)が0.84と相関係数が大きくなった。次に夏冬平均のビル合計が0.83と相関係数が大きくなった。

3.1.3 ピーク電力

図17にピーク電力を系統別・季節別に示す。ピーク電力の夏期冬期の平均値はビル動力系では27.4W/m²、ビル電灯系では19.7W/m²となった。値はビル全体電力を延床面積で割った値である。フロア空調では35.4W/m²、フロア照明では12.1W/m²、フロアコンセントでは14.5W/m²となった。値は代表フロア電力をそのフロア面積で割った値である。標準的な設計値(執務室電力を執務室面積で割った値)を空調50W/m²、照明20W/m²、コンセント30W/m²と想定した場合、この設計値を下回る建物は空調系は約72%、照明系は約92%、コンセント系は約98%となった。

3.1.4 9-17時 平均電力

図18に9-17時平均電力を系統別・季節別に示す。9-17時平均電力の夏期冬期の平均値はビル動力では16.2W/m²、ビル電灯では15.7W/m²、フロア空調では19.1W/m²、フロア照明では10.0W/m²、フロアコンセントでは10.5W/m²となった。

表8 相関 夏期

系統	相関係数	標本数
ビル	0.77	37
動力	0.78	37
電灯	0.84	36
合計	0.84	36
フロア		
空調	0.39	32
照明	0.41	31
コンセント	0.33	30
合計	0.45	29

表9 相関 冬期

系統	相関係数	標本数
ビル	0.35	34
動力	0.73	34
電灯	0.72	33
合計	0.72	33
フロア		
空調	0.04	29
照明	0.49	30
コンセント	0.20	28
合計	0.27	25

表10 相関 夏冬平均

系統	相関係数	標本数
ビル	0.68	33
動力	0.76	33
電灯	0.83	32
合計	0.83	32
フロア		
空調	0.33	29
照明	0.46	30
コンセント	0.27	28
合計	0.45	25

図 20 某ビルの一週間のフロア照明電力の変化

図 21 夏期平均使用時間と基準値の関係

図 22 使用時間

図 23 夏期冬期の使用時間の関係

3.1.5 ベース電力

図 19 にベース電力を系統別・季節別に示す。ベース電力の夏期冬期の平均値はビル動力では $1.0\text{W}/\text{m}^2$ 、ビル電灯では $2.6\text{W}/\text{m}^2$ 、フロア空調では $0.5\text{W}/\text{m}^2$ 、フロア照明では $0.1\text{W}/\text{m}^2$ 、フロアコンセントでは $2.2\text{W}/\text{m}^2$ となった。フロア空調やフロア照明ではほとんどの建物でベース電力は発生しておらず、フロアコンセントのベース電力が大きくなった。

3.2 使用時間

建物の使用時間はその建物のエネルギー消費量に大きな影響を与えるが、その定義は明確ではない。今後、ビルのエネルギー消費量の多寡を考える上でその定義は重要である。そこで、実測したフロア照明電力を用いて使用時間を決める方法について以下考察した。

(a) 使用時間の定義

図 20 に某ビルの一週間のフロア照明電力の変化を示す。図 20 のフロア照明電力が一週間の最大値の一定割合以上(今後この数値を基準値と呼ぶ)となる時間をその建物を使用している時間と考え、平日のこの平均値を使用時間とする。図 21 に基準値を変化させたときの夏期使用時間の変化を示す。またフロア照明以外のビル動力・ビル電灯・フロア空調・フロアコンセント系の電力を利用した場合の値を示す。フロア照明電力以外を用いて使用時間を算出した場合は傾きがなだらかになっており、基準値の大小により使用時間が大きく変化してしまう。一方、フロア照明を用いた場合は基準値=0.3 前後で傾きが急になり、基準値の数値の変化に対する使用時間の変化が小さい。使用時間を算出する場合はフロア照明電力系で基準値 0.3 前後を使用するのが妥当と思われる。またこの図で基準値 0.5 付近より上が定時の使用時間、0.5~0.3 は多くの従業員が残業している時間、0.3~0.1 は一部の従業員が残業している時間と考えられる。建物のエネルギー消費量に影響するのは、規定就業時間ではなく残業時間も含めて多くの従業員が使用している時間と考えて、基準値 0.3 で得られる時間を建物使用時間とする。

(b) 使用時間

図 22 にフロア照明電力系、基準値 0.3 で算出した使用時間を事務所

図 24 開始時刻

図 25 終了時刻

について季節別に示す。平均値は夏期 12.7 時間、冬期 12.9 時間、夏期冬期平均 12.8 時間となった。図 23 に夏期使用時間と冬期使用時間の関係を示す。相関係数 R は 0.81 となり高い相関が見られた。

(c) 開始時刻・終了時刻

使用時間における使用開始時刻と使用終了時刻の平日平均値をそれぞれ開始時刻・終了時刻とした(図 20)ときの開始時刻を図 24 に季節別に示す。平均値は夏期 07:41、冬期 07:40 となった。図 25 に終了時刻を季節別に示す。平均値は夏期 20:48、冬期 20:49 となった。開始時刻と比較して終了時刻は建物ごとのばらつきが大きい。

4. ビルの評価・診断

あるビルのエネルギーデータを、今回調査した小規模事務所の平均値データと比較することで、そのビルのエネルギー消費特性を評価する方法を考えた。A ビルと B ビルの概要を表 11~12、評価に用いた平均値データとの比較図を図 26~38 に示す。

A ビルを対象にして評価した結果を表 13 に示す。年間エネルギー消費量原単位は $2716\text{MJ}/\text{m}^2$ であり事務所用途の平均よりもとても大きい(図 28)。また使用時間は 12 時間程度と事務所用途の平均よりも短い(図 29)。その他の項目で平均値から大きく離れているデータに注目すると、図 35 で平日の電力量のうちフロア照明電力が平均値の 2 倍と大きい。図 37 の 9-17 時平均電力でもフロア照明電力が平均の 2

表 11 A ビル概要

名称	Aビル
建物用途	事務所
延床面積	1200 m ²
階数	地上 6階
場所	沖縄県
竣工年	1996 年
建築構造	SRC造
空調使用エネルギー	電力のみ
空調方式	個別式パッケージ
年間一次エネルギー消費量原単位	2716 MJ/m ² ・年

図 26 A ビル概観

表 12 B ビル概要

名称	Bビル
建物用途	事務所
延床面積	1591 m ²
階数	地上 5階
場所	東京都
竣工年	1990 年
建築構造	S造
空調使用エネルギー	電力のみ
空調方式	個別式パッケージ
年間一次エネルギー消費量原単位	1145 MJ/m ² ・年

図 27 B ビル概観

図 28 A ビルと B ビルの一次エネルギー消費量原単位

図 29 A ビルと B ビルの使用時間

図 30 A ビルと B ビルの外気温度

図 31 A ビルと B ビルの室内温度

図 32 A ビルと B ビルの外気湿度

図 33 A ビルと B ビルの室内湿度

図 34 A ビルと B ビルの系統別 平日の消費電力量

図 35 A ビルと B ビルの系統別 平日の消費電力量

図 36 A ビルと B ビルのピーク電力

図 37 A ビルと B ビルの 9-17 時平均電力

図 38 A ビルと B ビルのベース電力

表 13 A ビルの評価

概要	年間エネルギー消費量原単位は2716MJ/m ² ・年であり、事務所用途の中では大きい。使用時間は12時間程度であり事務所用途の中では比較的短い。
温湿度	沖縄県であるため冬期の外気温度が比較的高い。夏期は26℃まで室温が低下している。
平日の電力量	ビル電灯、フロア照明で平均値の2倍と異常に大きい。
ピーク電力	ビル電灯、フロア照明で異常に大きい。
9-17時平均電力	夏期フロア空調、ビル電灯、フロア照明で異常に大きい。
ベース電力	ビル電灯は異常に大きい。フロア照明は異常なし。
まとめ	年間エネルギー消費量原単位が大きい要因の1つとして、日中のフロア照明が異常に大きいことが考えられる。適切な照度か確認、高効率の蛍光灯に交換などの対応が望まれる。

表 14 B ビルの評価

概要	年間エネルギー消費量原単位は1145MJ/m ² ・年であり、事務所用途の中では平均的である。使用時間は15時間程度と比較的長い。
温湿度	夏期の室内温度が25℃と低くなっている。冬期は室内温度が23℃と高くなっている。
平日の電力量	ビル電灯、フロア照明、フロアコンセントは平均よりも少し大きい。
ピーク電力	夏期冬期ともにフロア空調が異常に大きい。
9-17時平均電力	夏期フロア空調、冬期フロアコンセントが平均値よりも大きい。
ベース電力	ビル電灯、フロアコンセントが異常に大きい。
まとめ	年間エネルギー消費量原単位は平均的だが、フロア空調のピークが異常に大きい。設定温度や隙間風の確認が有効と思われる。またフロアコンセントのベースが異常に大きいため、無駄な待機電力が発生していないか確認が必要と思われる。

倍以上の消費をしている。また図 38 よりフロア照明電力のベース電力は平均的であり異常は見られない。以上より A ビルの年間エネルギー消費量原単位が大きい要因の一つとして、日中のフロア照明電力が異常に大きいことが考えられる。適切な照度を確認すること、高効率の蛍光灯に交換するなどの対応が望まれる。

B ビルを対象にして評価した結果を表 14 に示す。年間エネルギー消費量原単位は 1145MJ/m²であり事務所用途の中では平均的である（図 28）。また使用時間は 15 時間程度であり平均値よりも長い（図 29）。その他の項目で平均値から大きく離れているデータに注目すると、図 36 でフロア空調電力のピーク電力が平均よりも大きい。設定温度や隙間風の確認が有効と考えられる。また図 38 のベース電力ではフロアコンセント電力が平均よりも大きい。無駄な待機電力が発生していないか確認が必要と思われる。

このように一定数の建物のエネルギー消費量データを蓄積し、その統計データを指標として、特定の建物のエネルギー消費特性を評価診断することが可能になる。

5. まとめ

・年間エネルギー消費量について

今まで、ほとんど実測調査・公表されてこなかった小規模建築 106 棟のエネルギー消費量調査を行った。調査した小規模事務所(45 棟)の年間一次エネルギー消費量原単位は大中規模事務所^{注 1)}の約 62%となった。この理由としては、小規模建築に比べて大中規模建築の方がよ

り環境水準が高く、導入されている設備機器類も多いことなどが想定される。

調査した小規模事務所は大中規模事務所と比較して中間期に対する夏期の冷房エネルギー消費量原単位の増分は小さく、中間期に対する冬期の暖房エネルギー消費量原単位の増分は大きくなる傾向が見られた。小規模事務所は大中規模事務所と比較して冷房負荷は小さく、暖房負荷は大きくなる傾向があった。

・電力消費量について

従来のビルエネルギー消費量に係わる統計データでは、建物全体の消費エネルギーにかかわるものが多いが、本調査ではさらに用途別に、代表フロアの時刻変動データを季節別に調査した。

調査した小規模事務所の 1 日の消費電力量における動力系電力と電灯系電力の比は動力:電灯=1:1、空調:照明:コンセント=2:1:1 となった。コンセント電力は 1 日の電力量のうちベース電力量が 34%を占めた。ビルの消費電力量削減のためにはコンセント電力の待機電力の削減が有効と思われる。また多くの建物でピーク電力はここで想定した標準的な設計値よりも小さくなった。

・室内温湿度について

従来のビルエネルギー消費量に係わる統計データでは、温熱環境に係わるデータはほとんどとられていないが、本調査では電力消費量のデータと並行して代表フロアの複数個所の温湿度データを時刻別に計測した。

調査した小規模事務所では平均室内温度は夏期 26.1℃、冬期 21.9℃、平均室内湿度は夏期 53.5%、冬期 34.0%となり冬期の湿度が低い傾向にあった。また夏期と比較して冬期では部屋の場所ごとの室内温度のばらつきが大きかった。

・エネルギー消費量の評価・診断

ビルのエネルギー消費量の実測調査データを蓄積し、その調査データと、あるビルのエネルギー消費構造を比較し、平均値からの乖離が大きい要素を抽出し、その原因を調査・検討することにより省エネ対策を立案できる可能性を示した。また、その評価のためには建物の使用時間に関する考え方を定義する必要があるが、実測データから建物の使用時間を算出する方法を示した。

ここで提案した建物の使用時間の算出方法によれば、調査した小規模事務所の平均使用時間は 12.8 時間になった。

6. 今後の課題

本研究では全体で 106 件の調査建物の中で標本数の多い事務所用途建物について主に分析した。今後、小規模建築のエネルギー・温熱環境データをここで示した実測方法により、建物用途別にさらに蓄積し、事務所だけでなく小型店舗などのエネルギー特性も把握することが望まれる。

謝辞

本研究を進めていく上で、「省エネルギー推進のための実態調査等補助事業」に際し 3 年間にわたり共同研究を行ってきた日設連、省エネルギーセンター、東京電力、東光電気、各設備工事会社の皆様にご協力をいただきました。また各調査建物の方々には執務中の実測および調査にご協力をいただきました。心より御礼申し上げます。

注

- 注1) 社団法人 日本ビルエネルギー総合管理技術協会編：平成 19 年度版建築物エネルギー消費量調査報告書
- 注2) 建築物における衛生的環境の確保に関する法律

参考文献

- 1) 亀谷茂樹，高口洋人，坊垣和明，松縄堅，坂本雄三，伊香賀俊治，村上周三：非住宅建築物（民生業務部門）の環境関連データベース構築に関する研究 その 21 全体概要（平成 20 年度調査），日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），D-1，pp.1133-1134，2009.8
- 2) 高口洋人，亀谷茂樹，坊垣和明，松縄堅，坂本雄三，伊香賀俊治，村上周三：非住宅建築物（民生業務部門）の環境関連データベース構築に関する研究 その 22 全国解析結果，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），D-1，pp.1135-1136，2009.8
- 3) 小寺優貴，赤司泰義，宮田征門，依田浩敏，前田昌一郎，渡辺俊行，村上周三，亀谷茂樹，半澤久，吉野博，下田吉之，村川三郎：非住宅（民生業務部門）建築物の環境関連データベース構築に関する研究 その 23 標準（レベル 2）データベース解析結果（平成 19 年度調査），日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），D-1，pp.1137-1138，2009.8
- 4) 坊垣和明，村上周三，松縄堅，亀谷茂樹，伊香賀俊治，坂本雄三，高口洋人：非住宅建築物の環境関連データベース構築に関する研究（第 1 報）非住宅建築物の環境関連データベースの全体概要、空調調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp.645-648，2008.8
- 5) 赤林伸一，足立直之：事務所ビルにおけるエネルギー消費量実態調査 新潟市におけるエネルギー需要構造に関する研究 その 2，日本建築学会計

画系論文集，No.481，pp.93-102，1996.3

- 6) 陳超，渡辺俊行，龍有二，赤司泰義：福岡市と北九州市における各種建物のエネルギー消費特性に関する調査研究，日本建築学会計画系論文集，No.485，pp.41-49，1996.7
- 7) 坂本和彦，村川三郎，篠原道正，西名大作，植村義幸：事務所ビルにおけるエネルギー消費量の経年変動に関する研究，日本建築学会環境系論文集，No.615，pp.81-87，2007.5
- 8) 瀧巖，DO ANH TUAN，福井拓，山本正良，川瀬貴晴：小規模建築のエネルギー消費に関する実測研究(その 1)，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），D-2，pp.1245-1246，2008.9
- 9) 瀧巖，柳原勝，川瀬貴晴，山本正良：小規模建築のエネルギー消費に関する実測研究(その 2)，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），D-2，pp.1195-1196，2009.8
- 10) 柳原勝，瀧巖，川瀬貴晴，山本正良：小規模建築のエネルギー消費に関する実測研究（その 3）事務室の空調性能および室性能評価，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），D-2，pp.1197-1198，2009.8
- 11) 柳原勝，川瀬貴晴，山本正良：小規模建築のエネルギー消費に関する実測研究(その 4)，日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），D-2，pp.1337-1338，2010.9
- 12) 田原雄一朗，川瀬貴晴，山本正良，柳原勝：小規模建築のエネルギー消費に関する実測研究(その 5)，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），D-2，pp.1189-1190，2011.8

（2011年7月7日原稿受理，2012年1月11日採用決定）