

非住宅建築物を中心とした街区群の エネルギーマネジメントに関する一考察

尾崎 平¹・盛岡 通²・野田 圭祐³

¹正会員 関西大学准教授 環境都市工学部 (〒564-8680大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)
E-mail:ozaki_t@kansai-u.ac.jp

²正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (〒564-8680大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)
E-mail:tmorioka@kansai-u.ac.jp

³学生会員 関西大学大学院 理工学研究科 (〒564-8680大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)

3.11以降の電力需要の逼迫および都市における低炭素化の推進のためにエネルギー利用のスマート化が望まれている。本研究では、高圧小口契約をしている非住宅建築物（事務所ビル）を対象に長期間のデマンド電力計測結果に基づき、季節別のエネルギー特性の考察と非住宅建築物（事務所ビル）の電力プロファイル推定の基礎的モデル概念を示した。対象とした事務所ビルの季節別のエネルギー特性としては、夏期、冬期におけるピークデマンドに大きな差はないこと、夏期・冬期のピークデマンドは空調需要による影響が最も大きく効いていることを示した。街区群のエネルギーマネジメントに向けた非住宅建築物（事務所ビル）の電力プロファイルの推定に関しては、実測データで得られた知見に基づくモデル構造の必要要件を示した。

Key Words : *office electricity demand, measuring electricity demand, demand profile simulation*

1. 緒論

都市の低炭素街区としての的確なエネルギー需給は、①省エネの推進及び再エネの導入、さらに②ピーク負荷率の低減、③需給応答を含めたスマート化によって達成される。筆者らは、これまで②について太陽光発電と蓄電池（以下、PV-BT）システムの導入によって達成しうる程度を評価するためのモデルの開発と評価を実施した¹³⁾。今後、PV-BTの容量設計、運転方法の検討、デマンドレスポンスによるスマート化を検討・評価するためには、デマンド電力プロファイルが必要である。

また、エリアエネルギーマネジメントとして、街区群あるいは、同一管理者の所有する建物群単位等での電力需要の異なるプロファイルを重ね合わせることで、エネルギー需要の負荷の平準化を図るスマート化を評価する上でもデマンド電力プロファイルは必要不可欠である。

デマンド電力プロファイルとは、30分単位の電力需要量を時々刻々とプロットしたデータの集合体である。基本的に契約電力500kW以上（いわゆる高圧大口需要

家および特別高圧需要家）の事業所においては、デマンドモニタにより、デマンド電力が監視され、契約電力を超過しないマネジメントが建物単位で実施されている。

しかしながら、50～500kWの高圧小口需要家であってBEMSを導入しているビルや50kW未満の低圧需要家であってHEMSを導入している家庭等を除き、一般にデマンド電力は計測されていない。

ビル単位、街区単位、ある管理区分単位でのエネルギーマネジメントを実施するために、実際の電力プロファイルを把握した上で、先述した①～③のオプションを導入し、より効果的な政策誘導、技術導入を推進していかねばならない。そのための電力モニタリングとモデル開発は不可欠である。

街区群単位のマネジメントに関する先行研究として、森田ら⁴⁾による低炭素化実現を支援する評価・デザインシステムに関する研究や藤崎ら⁹⁾の住宅ストック形成に関する研究、戸川らによる発電所廃熱を活用したエネルギーマネジメントに関する研究⁷⁾がなされている。

本研究の特徴は、高圧小口契約をしている非住宅建築

物（事務所ビル）を対象に2013年7月上旬~2014年3月上旬（2014年4月現在も継続して計測中）までの長期間のデマンド電力計測結果に基づき、季節別のエネルギー特性の考察と非住宅建築物（事務所ビル）の電力プロファイル推定の基礎的モデル概念を示したことである。

2. エネルギー管理のための非住宅建築物（事務所ビル）の電力プロファイルの計測方法

(1) 対象事務所ビルの概要

本研究では神戸市内のSRC造の地上11階、地下1階の事務所ビルを対象とした。延床面積はDECC（非住宅建築物の環境関連データベース（2013）、日本サステナブル建築協会⁸⁾）の面積区分2000~10,000m²に該当する。竣工年台は1970年代であり、1990年代にリニューアルしている。

対象ビルは貸し事務所ビルであり、各フロアに異なる主体の事業者が入居している。空調管理は個別単位空調（各部屋で電源のオン、オフや温度設定を行う方式）ではなく、フロア単位のセントラル空調である（ビル管理者が空調のオン、オフ、温度設定を行う方式）。

夏期、冬期の空調は、原則として始業開始前の午前7:30に電源が入れられ、その後、一定の設定温度で運転を行うが、各フロアの事業者から空調に関する設定温度に対して、要望があった場合には対応する方式をとっている。

(2) 電力計測システムの構成と概要

電力計測システムは、図-1に示すとおり、計測ユニットKWP-1000（近計システム製）、分割型電流センサ（CT）、TCP変換器、データロガー用PCからなる。

本計測ユニットによる測定項目は、電圧実効値 [V]、電流実効値 [A]、有効電力 [W]、皮相電力 [VA]、力率 [cosΦ]、電力量 [Wh] であり、計測精度は電力量で±2.5%である。

対象ビルは地下1階に電気室があり、同地点において電灯電力（単相電力）、動力電力（三相電力）の2系統を別々に10分間隔で計測した。

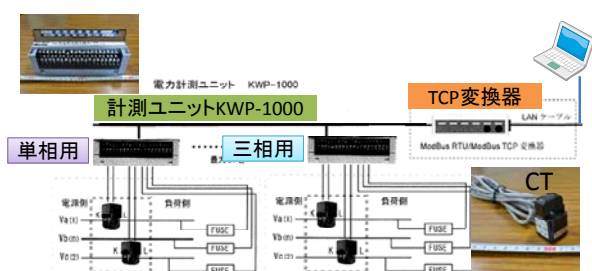


図-1 非住宅建築物の電力計測のためのシステム構成

(3) 計測期間

データ計測は2013年7月10日から開始し、現在（2014年4月25日）も計測中である。本研究では、2013年8月~2014年2月までのデータ計測結果をもとに説明を行う。

3. 非住宅建築物（事務所ビル）の電力プロファイルの計測結果とその特性に関する考察

対象とした非住宅建築物（事務所）ビルのデマンド電力のプロファイルを図-2に示す。電力需要は夏期、冬期、中間期において特徴が現れるため、各期の代表月として、8月、2月、10月のデマンド電力の計測結果を示す。なお、図中の実線が総デマンド電力（三相（動力）+単相（電灯））を表し、鎖線は、単相（電灯）のみのデマンド電力を表す。

(1) 平日と休日のデマンド電力の違い

非住宅建築物のうち、特に事務所ビルは、平日と休日で、そのデマンド電力が大きく異なることが図-2より一目瞭然である。例えば、お盆の時期を除き、8月の中で最も暑かった8月19日（月）~25日（日）の一週間を見た場合、平日の8月19日（月）~23日（金）の最大デマンド電力の平均値は240kWに対し、24日（土）は168kW、25日（日）34kWである。

(2) 動力（三相）と電灯（単相）のデマンド電力の特徴

表-1に各期別の平日の7:00~19:00の間の各デマンド電力の日平均値を示す。なお、夏期について、8月13日（火）~16日（金）の電灯電力消費量が他の平日の6割程度であったことから、この期間はお盆休みとして休日扱いとした。

a) 電灯（単相）のデマンド電力

各期の電力プロファイルおよび表-1の結果からみてわかる通り、平日7:00~19:00の間の平均デマンド電力の日平均電灯電力は約53kWと一定である。また、平日の最大デマンド電力の日平均電灯電力も約62kWと一定である。すなわち、電灯電力は、季節を問わず、概ね一定と判断できる。

表-1 期別の平日7:00~19:00の間の最大、平均デマンド電力

	最大値の日平均(kW)			平均値の日平均(kW)		
	動力	電灯	合計	動力	電灯	合計
夏期	172	62	220	135	53	187
中間期	62	62	120	46	53	99
冬期	185	64	213	118	54	172
夏期:8月(8/13~16のお盆は除く)、中間期:10月、冬期:2月						

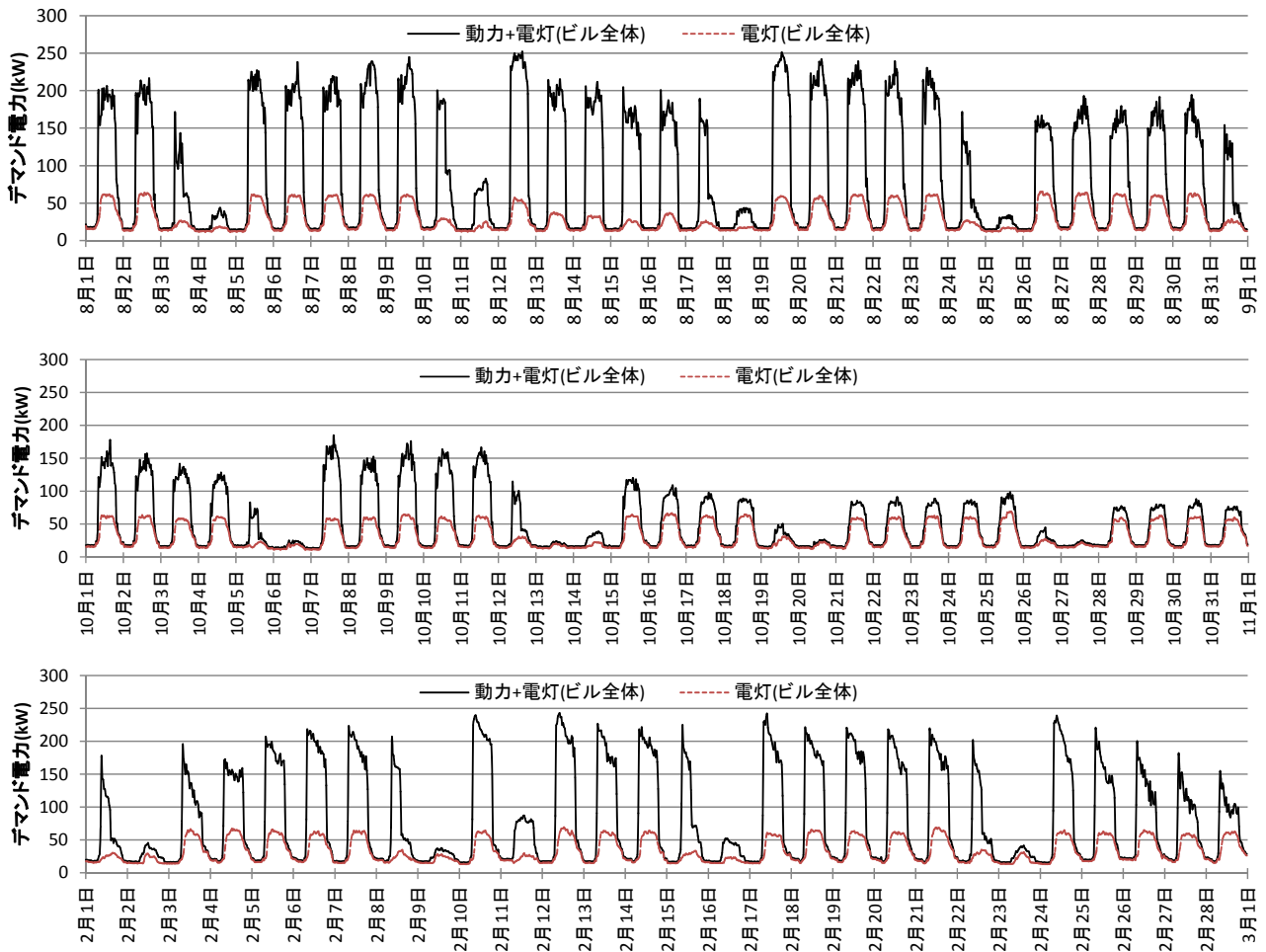


図-2 夏期(8月,上段), 中間期(10月,中段), 冬期(2月,下段)の電力計測結果

b) 動力(三相)のデマンド電力

次に、動力電力(主に空調電力)について、最大デマンド電力、平均デマンド電力の日平均値は、各期により異なる。中間期の最大、平均デマンド電力の日平均値は、夏期、冬期に比べると約4割程度である。

また、最大デマンド電力は冬期の方が夏期よりも15kW程度高く、逆に平均デマンド電力は冬期の方が夏期よりも15kW程度低い。冬期は朝一番が冷え込んでおり、8:00頃にデマンド電力がピークを迎えるのに対し、夏期は、午後の方が暑いため、14:00~15:00頃にピーク電力を迎える。そのため、最大デマンド電力が冬期の方が高いのは、冬期は空調電源を入れたときに、エアコンのほぼ最大出力で運転がなされるのに対し、夏期は、午前中から空調が入っていることから、その余熱で部屋がある程度冷やされているため、空調の最大出力でなくても部屋を冷却できているためである。

一方、平均デマンド電力が夏期の方が高いのは、冬期は、午前中に暖めた余熱で、午後は低い空調出力で対応できているが、夏期は、一日を通して高い空調出力で対応しなければならないためである。

合計のデマンド電力では、夏期が最大、平均デマンド

電力とも高い値となっている。

(3) 平日の各時期のデマンド電力のパターン分析

本対象ビルは、前述のとおりフロア単位の空調管理であり、始業開始前の午前7:30より空調が起動する仕組みとなっている。

a) 全体(動力+電灯)の電力パターン

夏期および中間期のデマンド電力は、7:30以降空調が起動することにより、増加し始め、その後、9:00前後に照明やパソコン等の電灯電力が使用されることにより、さらに増加する。その後、正午を過ぎ14:00~15:00にかけて外気温の上昇に伴い、空調需要がやや高まり、その時にピークデマンドを迎え、18:00前後から緩やかに電力需要が低下していくパターンが多い。

一方、冬期の電力プロファイルは、8:00前後がデマンド電力のピークとなり、その後、徐々に電力需要は低下していく。

b) 電灯のデマンド電力のパターン

表-1に示した通り、電灯のデマンド電力は、季節に関わらず、一定のパターンと見なせる。そのパターン(波形)は、台形型である。入社時の電力増加は概ね

7:00~9:30にかけてであり、帰宅時の電力減少は、17:00~23:00にかけてである。

ここで、計測期間のうち（2013年8月1日～2014年2月28日）平日、夜間（23:00~7:00）の電灯のデマンド電力と昼間（9:30~17:00）の電灯のデマンド電力の平均と分散は、表-2に示す通りである。なお、対象期間中の平日の日数は138日である。

夜間および昼間の標準偏差は1.3kWと2.0kWとその分布範囲は、平均（16.0kW、60.4kW）に対して、それぞれ8%、3%と非常に変動が小さいことがわかる。

c) 動力のデマンド電力のパターン

動力のデマンド電力パターンは、冷房需要か、暖房需要かにより、そのパターンが異なる。冷房需要の場合は、午前の起動時(8:00前後)と午後の14:00前後にデマンド電力が増加する（ピークを迎える）パターンが見られる。また、図-3に示す通り、冷房需要のデマンド電力は、最高気温と一定の相関関係が確認できた。

一方、暖房需要の場合は、起動時（8:00前後）にデマンド電力が最大を迎え、その後は減少するパターンが見られる。特に暖房需要について言えば、休日の翌日（2月10日、12日、17日、24）のデマンド電力がいずれも高い傾向を示しているのが特徴的である。

4. 街区群のエネルギーマネジメントに資する非住宅建築物（事務所ビル）の電力プロファイル推定のモデル概念

ここでは、街区群のエネルギーマネジメントを行う上で、必要となる非住宅建築物（事務所ビル）の電力プロファイルの推定モデルに関して、3章で得られた点も考慮しつつ検討する。

(1) 電力プロファイル推定モデル構築の目的

構築モデルは、現状を把握再現することが目的ではなく、エネルギー利用のスマート化、都市の低炭素化に向けた今後の政策、技術オプションを評価できるモデルでなければならない。すなわち、将来の省エネ機器の導入、再エネ技術の導入、あるいは建築物の建て替えに伴う断熱性能の向上、床面積の増大、エネルギーマネジメント単位の変更（例えば、現状の個別管理や、電力自由化によって推進される可能性が高い街区管理、街区群管理あるいは、空間規模を問わないクラウド型管理等）、ダイナミックプライシングによるデマンドレスポンスによるスマート化等の評価である。

また、DECCのデータをもとにピーク電力の発生時刻を固定したり、電力需要量を電力需要原単位 [kWh/m²] に延床面積 [m²] を乗じたりすることで算

表-2 平日の夜間、昼間のデマンド電力の平均と分散値
(対象期間：2013年8月1日～2014年2月28日、N=136日)

	夜間 (23:00~7:00)	昼間 (9:30~17:00)
平均(m)	16.0kW	60.4kW
標準偏差(σ)	1.3kW	2.0kW

ここで平日とは、土日、祝日およびお盆(8/14-16)、正月(12/30-1/4)休みを除いた日(136日)である。

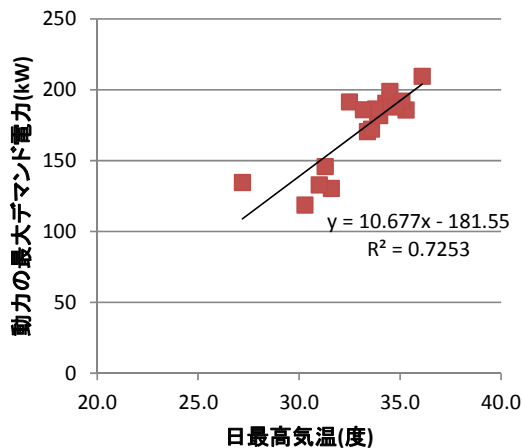


図-3 日最高気温と冷房需要の最大デマンド電力の関係

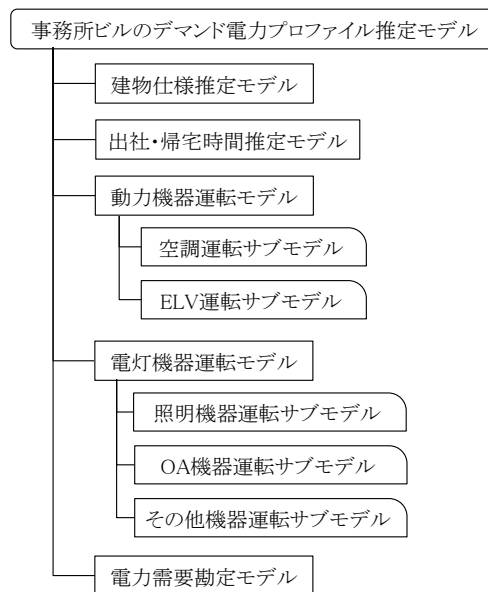


図-4 非住宅建築物（事務所ビル）の電力プロファイル推定モデルの構成図

定する決定論的モデルでは、多様な業務形態の違いを表現できない。そのため、出社、退社時刻の変動幅、電灯電力の変動幅や外気温や室温、空調設定温度に応じた空調電力の負荷率等を考慮した確率モデルを構築する必要がある。

(2) 電力プロファイル推定モデルのモデル構造

上記の目的および条件を表現するための電力プロファイル推定モデルの基本構造を図-4に示す。本推定モデ

ルは5つのモデルから構成され、そのうち動力機器運転モデルには、2つのサブモデル、電灯機器運転モデルには、3つのサブモデルが存在する。

a) 建物仕様推定モデル

本モデルは建築年次、延床面積、建築構造、ELV台数、空調方式等の建物仕様に関する基本的データを取り扱うモデルである。インプットデータは、ゼンリン社の住宅地図、行政データである都市計画基礎調査、法人建物調査等のデータを用いる。

本モデルの結果（延床面積や空調方式等）は、動力機器運転モデルや電灯機器運転モデルのインプットデータとなる。また、将来推計時の建替時期の推定にも活用する。

b) 出社・帰宅時間推定モデル

本モデルは、動力機器あるいは電灯機器の運転時間の推定に用いる。入力データは、パーソントリップ調査（PT調査）の出社時刻と退社時刻を用いる。両時刻の平均値と標準偏差を用いて変動幅を与え、確率モデルとする。

c) 動力機器運転モデル

本モデルは動力（三相）電源で稼働する機器の運転に伴うデマンド電力を推定する。サブモデルは、空調に伴う電力とエレベーター（ELV）稼働に伴う電力である。

空調運転については、3章で示した実測結果より判断して、各期毎に電力パターンを設定する。また、空調は、外気温および室内温度と空調の設定温度の関係に基づき負荷率変動するため、空調機器の定格出力、負荷率について、空気調和・衛生工学会等の統計データをもとに年代別に設定する。これによりリプレイスによる省エネ化の推定も可能となる。

エレベーター運転については、機器の定格出力を年代別に調査し、設定する。また、エレベーター交通量については、企業の算定方法⁹⁾を参考とする。

d) 電灯機器運転モデル

電灯電力については、サブモデルに示す通り、事務所ビルにおいて、空調以外で需要の多い照明、OA機器（パソコン、プリンター、コピー機）およびその他機器に分けて算定する。各サブモデルでは、その導入量について、床面積当たりの導入台数を設定し、機器の定格出力については、年代別に設定する。

電灯電力については、3章の実測結果からも明らかのように夜間と昼間のデマンド電力の変動は余り大きくない。また、季節にかかわらず、その値は概ね一定のため、台形型のデマンド電力パターンとし、昼夜間比については、3章で示した計測結果を利用する。また、始業時と終業時の変動幅は、出社・帰宅時間推定モデルの結果を用いる。

e) 電力需要勘定モデル

30分毎の動力と電灯電力の電力需要を表現し、最大デマンド電力、昼夜間比、総電力需要量等を集計するモデルである。また、確率モデルであるため、モンテカルロシミュレーションを行い、期待値や90%値等で出力を可能とする。

さらに、本サブモデルでは電力需要をCO₂排出量に換算することで、機器のリプレイスや冷暖房の設定温度の適正設定、不要な照明の消灯等による低炭素効果の推定も可能である。

5. 結論

本研究では、高圧小口契約をしている非住宅建築物（事務所ビル）を対象に2013年8月～2014年2月までの長期間のデマンド電力計測結果に基づき、季節別のエネルギー特性の考察と非住宅建築物（事務所ビル）の電力プロフィール推定の基礎的モデル概念を示した。本研究により得られた主な知見を以下に示す。

- 1) 事務所ビルにおいては、空調需要によるデマンド電力が非常に高いことを定量的に示した。対象ビルにおいて夏期と冬期の空調需要が高い時期ではデマンド電力の7割以上を占めていた。
- 2) 夏期と冬期の最大デマンド電力は、それぞれ252kWと248kWであり、ほとんど差は見られない。夏期だけではなく、冬期のデマンド電力管理も重要であることが示唆された。
- 3) 事務所ビルのデマンド電力は、その業務時間帯に集中するため、平日と休日では大きく異なる。今回の例では、夏期の電力需要が高い時期では、平日と休日でも最大デマンド電力が7倍ほど異なっていた。
- 4) 電灯（単相）電力について、始業時と終業時の照明やパソコン等のオン、オフの時間帯を除けば、夜間・昼間のデマンド電力の標準偏差（変動幅）は小さく（夜間で8%、昼間で3%の変動幅）、概ね一定であることが確認できた。また、今回の例では昼夜間比は3.8倍程度であった。
- 5) 事務所ビルの平日の電灯デマンド電力は、季節を問わず台形型の電力波形（パターン）で表現可能である。また、動力デマンド電力は、期間毎にその傾向が異なり、夏期は、始業時と14:00前後の2度、ピークを迎える二山型の波形であり、冬期は始業時にピークを迎え、その後は減少傾向の波形で表現できることが明らかとなった。
- 6) 事務所ビルのエネルギー利用のスマート化、低炭素化に向けた今後の政策、技術オプションを評価するために必要なモデル構造を示した。今回は非住宅建築物のうち事務所ビルを対象に計測、

モデル化を試みた。しかしながら、モデルに関しては概念を示したに留まっており、具体的な算定が必要である。また、事務所ビル以外の非住宅建築物についても、モデル構築を行い、多用途が混在する街区群の電力プロファイルを表現するモデルを構築する。

謝辞：本研究を遂行するにあたりご協力頂いた神戸市役所都市計画総局、神戸市旧居留地協議会および当該ビルのオーナー会社の協力を得た。厚く御礼申し上げます。本研究は環境研究総合推進費（1E-1202，研究代表者：北詰恵一）の助成を得て行った研究であり、関西大学 先端科学技術推進機構 健康まちづくりのためのソーシャルデザイン研究グループの活動の一環である。

参考文献

- 1) 山口徹也，森川雄貴，盛岡通，尾崎平：事業所の購買電力抑制と電力負荷平準化を目的とした太陽電池・蓄電池組合せシステムの費用効果算定モデルの構築，土木学会論文集 G，Vol.68，No.6，pp.229-236，2012.
- 2) 森川雄貴，野田圭祐，盛岡通，尾崎平：街区地区レベルでの太陽電池・蓄電池を用いた電力負荷平準化による費用効果算定モデルの構築，土木学会論文集 G（環境），Vol.69，No.6，pp.II_239-II_249，2013.
- 3) Taira OZAKI, Tohru Morioka and Keisuke Noda: Cost-

- Benefit Performance of Photovoltaics and Battery Storage Systems to Secure Load Leveling and Peak Shaving in City Block, First International Conference on Energy and Indoor Environment for Hot Climates, (ROMpp.1-7), 2014
- 4) 森田紘圭，加藤博和，村山顕人，柴原尚希，林良嗣：クオリティ・ストックの実現に向けた街区群の動学的更新・評価モデルの構築—名古屋市中区錦二丁目地区を対象として—，都市計画論文集，Vol.48，No.3，pp.1071-1076，2013.
- 5) 森田紘圭，戸川卓哉，加藤博和，飯塚悟，村山顕人，林良嗣：低炭素社会実現を支援する街区群評価・デザインシステムの提案，日本環境共生学会学術大会発表論文集，Vol.15，pp.160-165，2012.
- 6) 藤崎浩太，富越大介，川久保俊，伊香賀俊治：街区群の低炭素性能向上に向けた住宅ストック形成に関する研究，土木計画学研究・講演集(CD-ROM)，Vol.45，2012
- 7) 戸川卓哉，藤田壮，平野勇二郎，藤井実，大西悟：火力発電所排熱を活用した街区群エネルギーシステムの低炭素性評価，土木計画学研究・講演集(CD-ROM)，Vol.47，2013
- 8) (社)日本サステナブル建築協会：DECC 非住宅建築物の環境関連データベース
<http://www.jsbc.or.jp/decc_download/index.html>
- 9) 日本オーチス・エレベーター株式会社：エレベーター交通量計算<<http://www.otis.com/site/jp/>>

(2014. 4. 25 受付)

A STUDY ON ENERGY MANAGEMENT IN NON-RESIDENTIAL BUILDINGS DISTRICT

Taira OZAKI, Tohru MORIOKA and Keisuke NODA