

街区群特性を考慮した電力需要プロファイルの 作成と考察-神戸市を対象として-

野田 圭祐¹・盛岡 通²・尾崎 平³

¹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)
E-mail: k209877@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

本研究では街区単位の住宅部門の電力需要プロファイルを作成するモデルを構築し、神戸市東灘区をケーススタディとして、夏季の電力需要最大日を対象に町単位の電力需要を推定した。また、デマンドレスポンス (DR)、町単位での一括受電による電力需要量、およびピーク電力の抑制効果を推定した。さらに、2030 年を対象年次とした高齢化の進展と人々の居住選択を将来シナリオとして描き、電力需要を推定し考察した。その結果、DR の実施による 1 日の電力需要量の削減率は約 5%程度であり、一括受電によるピーク電力の削減率は約 7%であった。また、2030 年までの建物更新による一世帯当たりの電力需要量の削減効果は、約 10%程度であった。

Key Words: *residential electricity demand, demand profile simulation, community electricity management*

1. 結論

住宅部門の電力装置は、従来の省エネ家電から、2011 年12月より経済産業省が推奨している標準通信規格「エコネット・ライト」を通して計測と管理を共通に行う端末付き家電、配電盤、スマートメーター等を伴って変貌した。HEMS(home energy management system)、MEMS (mansion energy management system)やPV-BT (太陽光発電及び定置充電電池) システム、EV車載蓄電池等が住宅で連携し、住宅部門が社会条件に応じ一つの主要なプレイヤーとして登場する様子が2020年頃に見通されている¹⁾。

2016年頃に想定されている家庭用を含めた電力自由化および実施の詳細が改めて議論される発送電分離の行方に大きく依存するが、電力市場の自由化が更なる効率化を志向し、電力供給義務と一体化した総括原価方式を全面的に見直すことがあって初めて、住宅部門が一団となって需給調整の担い手として登場する。その場合でも個々の住宅が直接に独立した主役となるというより、その省エネ量あるいは意図的な売電量をまとめて価値を高めるアグリゲータを通して住宅群が役割を果たすと見た

方がよい。

住宅部門のエネルギーマネジメントの社会実験として、北九州、けいはんな、横浜、豊田で先行してスマートコミュニティ創造事業が行われている²⁾。その個別条件の下でのエネルギーマネジメントや蓄電池や太陽光発電の導入あるいはデマンドレスポンス (DR ; demand response) による電力需要量の抑制効果等が検証されつつある³⁾。

しかしながら、社会実験ではあらゆるケースを検討することは不可能であり、併せて数値シミュレーションによる効果の算定を併用して行うことが有効である。そのため、既往研究においても森田ら⁴⁾、石田ら⁵⁾が地区単位でのエネルギー需要、DRによるエネルギー抑制に関する評価がなされている。しかしながら、既往研究では建物の建築年度の違いによる建物の断熱性能や将来の人口動態などは考慮されていない。また、DRによる効果も意向アンケートに基づく評価となっており、4都市の社会実験で得られた効果と比べるとやや過大な条件下での評価となっている。

また、筆者らは、これまで中心市街地でのオフィス群の電力需要の再現⁶⁾とPV-BTシステムの効果を評価する

研究⁷⁹⁾や住宅部門の世帯別の電力需要プロファイルを表示するモデル¹⁰⁾を構築してきた。しかしながら、これまでのモデルでは街区、街区群での電力需要プロファイルの作成やエネルギーマネジメントによる効果の算定はできなかった。

そのため、本研究では、前報で構築した①世帯別の外出と帰宅時刻、②生活時間の配分のサブモデルを活用し、新たに③街区群単位での世帯属性、④電力需要に影響を与える建物の建築年代、⑤躯体の断熱性、⑥戸建・集合住宅の属性割合を考慮した町別の電力需要プロファイルを作成するモデルを開発することを第一の目的とした。

第二に、本モデルを神戸市東灘区に適用し、DRによる電力需要量 (kWh) の削減効果、アグリゲータを介した町単位での一括受電方式によるピーク電力 (kW) の削減効果について推定し、街区単位でのエネルギーマネジメントの効果を示す。MEMS事業では、一括受電による最大 (ピーク) 電力の低減が見込まれている。このピーク電力抑制は、東日本大震災以降の電力需給が逼迫している状況において重要な論点である。現段階においては、利害関係が明確なマンション一棟 (アグリゲータと当該マンションの管理組合との契約)、等を対象としたMEMSによるものに留まっているが、本研究では、その管理単位を拡張し、戸建ても含めた町 (街区) 単位での削減効果について推定する。また、得られた結果より街区特性と削減効果の関係について考察する。

第三に、2030年の将来人口、世帯、建物更新を考慮した電力需要量を推定する。時間経過とともに既設建築物が順次更新されることにより、街区を構成する既設と新築の建物の割合が変化し、更新による断熱性能の向上、あるいは戸建てから集合住宅への居住転換が電力需要を抑制すると考えられる。建物更新については、将来の集合住宅の建設場所、規模を推定し、古い戸建て居住から集合住宅へと住み替えを伴う集住型のライフスタイルに転換した場合の省エネルギー効果について考察する。

2. 構築したシミュレーションモデル

(1) 街区群電力需要プロファイルモデルの概要

図-1に構築したモデルの全体構成を示す。図中の破線部で囲む領域が本研究で追加構築したサブモデルであり、外側の世帯属性の日間電力需要プロファイルモデルは先行研究¹⁰⁾で既に開発したモデルである。

図-1に示す通り、先行研究では世帯属性別の電力需要プロファイル作成に留まっていたため、街区群単位のエネルギーマネジメントの評価には不向きであった。この既存モデル¹⁰⁾は、電力需要に大きな影響を与える外出・

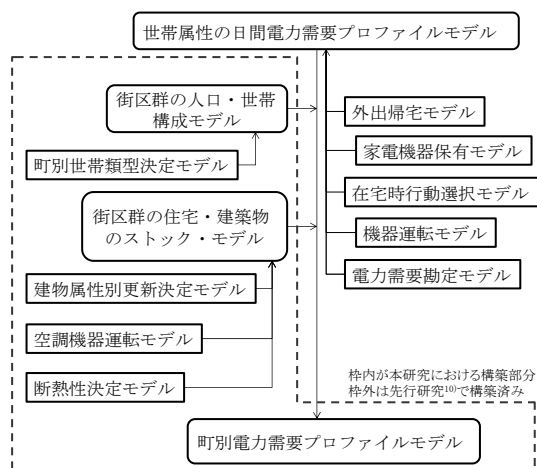


図-1 モデル全体の構成

表-1 設定した世帯類型の分類

1人世帯		2人世帯		4人世帯	
65歳未満	高齢者	65歳未満の夫婦のみ世帯	高齢者夫婦のみ世帯	母子、父子世帯	夫婦と子供から成る世帯
					核家族以外の世帯

帰宅・就寝の要素に変動幅を与え、モンテカルロシミュレーションにより世帯属性別の電力需要プロファイルを作成する確率論モデルであり、同じ世帯属性であっても多様なライフスタイルに伴う電力需要構造を表現するモデルである。その基礎データは、国勢調査、パーソナルリッパ (PT) 調査、社会生活基本調査、都市計画基礎調査であり、国内都市に適用する上で汎用性が高い。

本研究では、その既存モデルに、①街区别の世帯属性 (7種類) を規定する町別世帯類型決定モデル、②評価対象年次における電力需要プロファイルを町別に作成する際に、町を構成する建物の除却を考慮し、年代別の建物割合を規定する建物属性別更新決定モデル、③気温変化と連動して運転が決まる空調機器運転モデル、④住宅建築物の省エネルギー基準を参考に築年代別、戸建・集合住宅別の熱貫流率を考慮し、建物更新に伴う断熱性の向上及び空調機の稼働に影響を与える断熱性決定モデル、の計4つのサブモデルを追加し、町別電力需要プロファイルモデルを構築する。

(2) 各サブモデルの設定

a) 町別世帯類型決定モデル

国勢調査による世帯類型は、22区分にて集計されている¹¹⁾。既往研究⁴⁹⁾も参考に、この22区分をエネルギー需要特性を考慮し、表-1に示す7類型に集約した。具体的には、家庭におけるエネルギー需要は、在宅時の行動に起因することから、世帯を構成する主たる個人属性として勤め人、主婦、高齢者 (無職)、子供の4つの主体を代表として取り上げ、7つの世帯類型を決定した。ま

た、各世帯の持つ家電の保有台数は、表-2 に示す保有台数¹²⁾に基づいて与える。

b) 建物属性別更新決定モデル

建物属性は戸建・集合住宅の2種類を設定した。規模は戸建住宅を120 m²、集合住宅を60 m²とし、この値をデフォルトとして算定する。また、建築年度は、個別建物毎に把握することは困難であるが、町丁目単位であれば、5年おきに実施される都市計画基礎調査¹³⁾の築年別の件数、延床面積（課税台帳ベース）を利用することが可能である。

また、将来シナリオをデザインし、将来の電力需要を推定する場合、建築年度の古い建物の除却を見込みうる。本研究では、建物の更新について、既往研究¹⁴⁾の戸建・集合住宅毎の構造別（木造、鉄骨造、RC造）の残存率関数を用いて時間経過による建物除却数を推定する。

c) 空調機器運転モデル

電力需要において、夏季の空調機器の運転の影響は極めて大きい。本モデルでは、外気温と設定温度の関係より空調機器の電力需要を推定する。デフォルトでは、エアコンの設定温度は26℃、冷房能力は2.8kWとした。空調による消費電力は日本冷凍空調学会が公開している資料¹⁵⁾より冷房能力をCOPで除して算定する。

空調のCOPは製造年度により異なるため、年代別のCOPを住環境計画研究所が公開している資料¹⁶⁾を基に設定する。なお、空調機器の製造年代については、建物の建築年代に連動させて設定する。外気温については気象庁が公開している1時間毎の気温を用いる。

d) 断熱性決定モデル

空調機器の電力需要を推定するためには、熱量を求める必要がある。その熱量は、躯体の持つ断熱性に起因する。そのため、躯体の断熱性は建築環境・省エネルギー機構(IBECE)¹⁷⁾¹⁸⁾に公開されている年代別の熱損失係数の基準値を基に設定する。熱損失係数より熱貫流率を求め、外部からの熱量を求める。電力需要量の推定は佐藤¹⁹⁾により提案された手法を用いる。式(1)に示す通り、熱損失係数Qは在宅中の発熱（照明、家電エネルギー消費量）の合計を内部発熱として電力需要量Eを算出する方法である。

$$E = Q \cdot \Delta t \cdot S + q \quad (1)$$

ここでE：空調機器による電力需要(W)、Q：熱損失係数(W/m²・K)、 Δt ：外気温と室内温度との差(K)、S：属性別の延床面積(m²)、q：建物内部の熱量の合計(W)である。

表-2 世帯類型別保有台数

世帯人員	世帯属性	冷房 (台)	照明 (台/人)	冷蔵庫 (台)	TV (台)	PC (台)	レンジ (台)	ポット (台)	食洗機 (台)	炊飯器 (台)	洗濯機 (台)	掃除機 (台)	アイロン (台)
1人	64歳未満	1.38	90	1.05	1.18	0.94	0.9	0.9	0.04	0.79	0.90	0.90	0.90
	高齢者	1.38	90	1.09	2.25	0.24	0.88	0.88	0.17	0.95	1.00	1.00	1.00
2人	65歳未満の夫婦	2.76	180	1.17	1.89	1.16	1.00	1.00	0.21	0.95	1.02	1.02	1.02
	高齢者夫婦	2.76	180	1.17	1.89	1.16	1.00	1.00	0.21	0.95	1.02	1.02	1.02
	母子、父子世帯	2.76	180	1.27	2.26	0.85	1.12	1.12	0.36	1.02	1.04	1.04	1.04
4人	夫婦と子供から成る世帯	2.76	360	1.58	2.2	1.26	1.02	1.02	0.34	0.97	1.01	1.01	1.01
	核家族以外の世帯	2.76	360	1.58	2.2	1.26	1.02	1.02	0.34	0.97	1.01	1.01	1.01

3. 電力マネジメント手法と将来シナリオ

(1) デマンドレスポンスの設定

DRとは、「卸市場価格の高騰時または系統信頼性の低下時において、電気料金価格の設定またはインセンティブの支払に応じて、需要家側が電力の使用を抑制するよう電力消費パターンを変化させること」を指す²⁰⁾。DRは、時間帯別料金等の電気料金ベースのものと需給調整契約等のインセンティブベースのものに分けられる。

DRの効果について、社会実験を行っている4都市のうち北九州市、豊田市は、その効果の観測結果を公表している²¹⁾。これらの報告によると、電力需要が逼迫した際に電力管内で最も高くなる時間帯13時から16時を対象に料金ベースでの誘導による電力需要削減の効果を検証している。13時から16時は日最高気温がその時間帯に発生することに加えて、昼以降の仕事が職域で活発になる時間帯であるため、空調や機器の使用に伴う最大電力需要が発生しやすい時間帯である。

北九州市、豊田市の事例では前日にDRを行うことを住民に通知し、その貢献度に応じてポイントを付与する制度のものやTOU(Time-of-Use Pricing)やCPP(Critical Peak Pricing)で一時間当たりの電力単価を設定することによる料金ベースでの誘導などを行い効果を検証している。その結果、北九州の事例では、電力単価を変動させたとしても、1年目に比べ、2年目の価格弾力性は小さい傾向になることが示されている。また、豊田市の調査結果では、DR実施時に住民が節電対象とした家電製品は、夏季(43%)、冬季(47%)ともエアコンが1位であった。

以上のことから、本研究ではDRの発動時刻は、家庭以外の業務、産業部門も含めた全体の電力需要が逼迫する時間帯である13～16時の3時間とする。価格に関しては、継続することでその価格弾力性が小さくなることから、パラメータとはしない。また、DR実施時の節電対象機器は、エアコン(空調機器)のみとし、その反応割合は、上記の43～47%に準拠し期待値として50%とする。

DRを実施した場合としない場合での、一日の電力需

要量を比較し、その効果を算定する。

(2) 町単位での一括受電契約の設定

現在でも、マンションアグリゲータを介したマンションにおける一括受電サービスは存在する。マンション一括受電の基本的な仕組みは次のとおりである。通常の電力契約は、各戸と地域電力会社とが低圧契約を結ぶ形であるが、マンション一括受電とは、マンション棟分の電力をまとめ、受変電設備を設置し、オフィスビルやホテル等と同様に高圧契約を結ぶ形である。高圧契約を結ぶことで、需要側は、電力単価が安くなり、供給側は、最大電力需要が低減されるため、過大な電力供給を担保する必要がなくなり、双方にとりメリットが見込まれる。

今回、検討する町単位の一括受電とは、このマンション一括受電サービスを援用するものである。町単位で高圧契約を仮想的に結び、最大電力需要（ピーク電力）の削減を図ることを目的とする。今後の電力自由化に併せて、発送伝分離が進み、託送が可能になると、ある空間（クラウド状のバーチャル空間も含む）単位での電力マネジメントが想定される。本研究では、その空間単位を町単位として取り扱うことにした。高齢化率の高い町や戸建て率の高い町など、いくつかの街区を表現する指標を通して街区群特性と削減効果との関係を考察する。

(3) 人口・世帯動態および居住選択の将来シナリオ

本研究の目的は、現状を評価することだけではなく、将来の高齢化が進展し、高齢者の在宅率が高まった場合の電力需要の増加や断熱性能の高い住宅への建て替え、あるいは住宅政策による集住促進策等による電力需要抑制効果をも定量化することを目的としている。

a) 人口・世帯数の推計

人口・世帯数に関しては、4章のケーススタディにおいて示すが、兵庫県が推定している2030年の人口、世帯数を用いる。その推定方法は、社会保障・人口問題研究所（社人研）の推計方法をベースに兵庫県が独自にパラメータを設定し、推計しているものであるが、日本全国の主要都市の人口推計値は、社人研により算定されており、一般に活用しうるデータである。

b) 居住選択の将来シナリオ

本研究における居住選択の将来シナリオは、①現位置建替シナリオと②集住化促進シナリオの2つとした。

現位置建替シナリオとは、建物の老朽化が進んだ場合に、再度、同じ場所に建物を建築することを想定する。この場合、建物が更新されることによる断熱性能の向上などは電力需要算定のプロセスに組み込まれる。

集住化促進シナリオとは、鉄道駅の近郊にマンション開発を誘致する施策（容積率の緩和等）により、集住化が促進されることを想定する。鉄道駅の近郊にマンシ

ョンが開発されると、利便性を求めた高齢者世帯の住み替え需要も見込まれる。

集合住宅の建設用地の設定は、過去（直近10年程度）に開発された集合住宅の開発前の建物用途を過去の住宅地図をベースに調査し、開発されやすい用地を推定する。次に推定した用地が現存する位置と規模の関係から集合住宅の開発が可能かどうか、可能な場合の延床面積、建設戸数を算定する。具体的な算定は、4章のケーススタディで示す。

4. 神戸市東灘区を対象にしたケーススタディ

(1) 対象地域の概要

対象地域は、神戸市東灘区とする。東灘区は、旧東灘五ヶ町村とよばれる本庄村、本山村、魚崎町、住吉村、御影町と御影浜、魚崎浜、深江浜と六甲アイランドの埋め立て地で造られた計6地区からなり、全地区内に計39の町が存在する（住宅がない町は除く）。旧東灘五ヶ町村は古くから形成されたまちであるが、阪神大震災で大きな被害を受け、震災後、マンションが増加し、大阪・神戸の都心部へのアクセスの良さから他市、他区からの転入者の増加が著しく、灘区と共に神戸市内では、2010年以降も2025年までは人口増加が見込まれる地域である。そのため、六甲アイランド地区では、比較的若い世代が多く、旧東灘町村では、若い世代と高齢者の世代が混在しており、多様な世帯が街区内に存在していることから街区構成のモデルとして検討するのに都合がよい地域である。

(2) 町別電力需要プロファイル算定のための条件

a) 町別電力需要プロファイル算定の手順と前提条件

まず、現状（2010年）における神戸市東灘区の39の町別電力需要プロファイルを作成する。気象条件は、電力需給が逼迫する夏季の最大日（2013年8月13日、神戸）を対象とする。そのため、以後に述べる電力需要量、最大電力需要ならびに電力マネジメント（DR、町単位での一括受電）による削減率は夏季最大日を対象とした場合の結果である。

次に、将来（2030年）における町別の電力需要プロファイルを作成し、建物更新ならびに居住選択の将来シナリオに基づく算定結果について考察する。

b) 町別世帯類型決定モデルによる類型別世帯数

国勢調査の結果をもとに2010年の39町毎の7類型別の世帯数を算定した。地区単位で集計した結果を表-3に示す。東灘区全体の世帯数は約9.2万世帯である。

c) 建物属性別更新決定モデルによる戸建・集合住宅戸数および構造別残存率

国勢調査の結果をもとに町別の戸建・集合住宅の戸数を推定した(表-3)。また、都市計画基礎調査のデータをもとに築年代別の建築件数、延床面積および、既往研究における構造別残存率関数を用いて建物属性別の残存率を算定した(図-2)。

d) 2030年の人口・世帯数の設定

将来人口、世帯数の推計は、兵庫県が公表している神戸市東灘区のデータを引用した²¹⁾²²⁾。また、町別世帯類型決定モデルにより2030年の類型別世帯数を設定した。東灘区全体での2010年、2030年の世帯数を表-4に示す。2030年の方が2010年よりも人口、世帯数とも多いため、4人世帯の「夫婦と子供から成る世帯」以外はいずれも増加している。

e) 集合住宅の開発地とその規模の設定

神戸市東灘区は、阪神淡路大震災以後に大規模な集合住宅の開発が進んでいる。人口増加も見込まれており、今後も集合住宅が建設されることは十分予見できる。

本研究において集合住宅の開発地の選定は、東灘区内(六甲アイランドは除く)の2000年以降に開発された戸数が50戸以上の集合住宅(58棟)の開発前の用途を調査し、開発されやすい用地を抽出した。その結果、2000年以降に開発されたマンション58棟の開発前の用途は、社宅(33%)、公営住宅(11%)、酒造工場(8%)の順で多かった。

そのため、集合住宅の開発用地として、この3用途の土地を対象とした。さらに、開発された集合住宅58棟のマンションの建築面積を調べ、その平均(1,396㎡)と標準偏差(795㎡)より $m-\sigma$ ($\approx 600\text{㎡}$)を最小開発規模と定義した。その上で、現存する3用途の土地について調査し、現状の建築面積が600㎡以上の建物をマンション開発用地とした。その結果、対象とする39町のうち20町(80棟)の開発用地を設定した。

次に、集合住宅の規模は、2000年以降に開発された58棟のマンションの建築面積と延床面積の関係より、建築面積から延床面積を推定する一次近似式より算定した(図-3)。ここでは、75㎡を一世帯平均とし、戸数を算定した。その結果、社宅、公営住宅の現状の戸数を差し引いた純増戸数(酒造工場の住宅用地転用の場合は、全て純増とした)は、約17,800戸となり、2010年に対する2030年の増加世帯数約16,000世帯をほぼカバーできる。

(3) 町別電力需要プロファイルの推定結果と考察

家庭の電力需要量は、在宅時の行動に起因するため、各属性のライフスタイル(行動スケジュール)が大きく影響する。その典型的な例として、高齢者率が30%以上と高齢化が進む町と高齢者率が10%以下の青壮年層の多

表-3 2010年における対象地域の世帯類型、建物属性別戸数

	1人世帯		2人世帯		4人世帯			建物属性	
地区名	65歳未満	高齢者	65歳未満の夫婦のみ世帯	高齢者の夫婦のみ世帯	母子、父子世帯	夫婦と子供から成る世帯	核家族以外の世帯	戸建	集合
魚崎	3.6	1.4	1.8	0.2	1.2	4.0	0.6	3.1	9.6
住吉	4.7	2.3	2.3	0.6	1.5	5.0	0.8	5.1	12.2
本庄	4.4	1.9	2.4	0.3	1.8	5.1	0.7	3.1	13.4
御影	4.4	1.5	1.7	0.2	1.2	3.9	0.6	4.3	9.1
本山	7.4	2.8	3.1	0.3	2.3	8.4	1.0	6.8	18.4
六甲	1.5	0.6	1.1	0.1	0.6	3.0	0.2	0.2	6.8

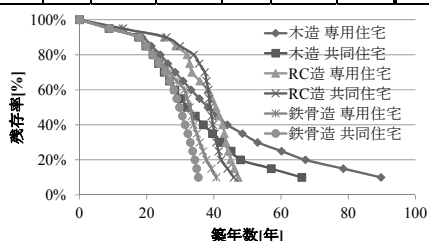


図-2 対象地域における建物構造別残存率

表-4 2010年と2030年の類型別世帯数 (単位:千戸)

	1人世帯		2人世帯			4人世帯	
年度	65歳未満	高齢者	65歳未満の夫婦のみ世帯	高齢者の夫婦のみ世帯	母子、父子世帯	夫婦と子供から成る世帯	核家族以外の世帯
2010	26.0	10.5	12.4	1.7	8.6	29.4	3.7
2030	30.2	18.4	15.8	2.2	9.6	28.4	3.9

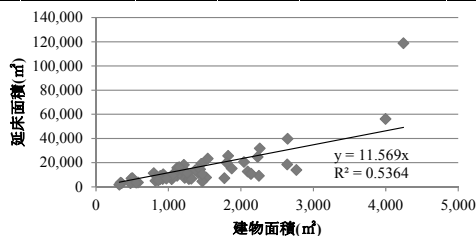


図-3 対象地域内において2000年以降に開発された集合住宅の建物面積と延床面積の関係

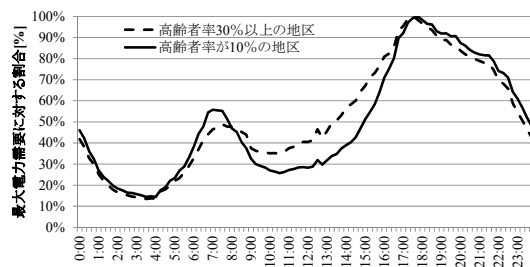


図-4 町別電力需要プロファイルの比較

い町の電力需要プロファイルの結果を図-4に示す。なお、縦軸は相对比较するために電力需要を正規化し表現した。

この結果より、高齢者率が高い町では、昼間の在宅率が高いため、昼間電力需要の比率が高い結果となった。また、高齢者率の低い町では、昼間の電力需要が最大電

力需要に比べて小さい結果となった。これは高齢者世帯の割合が少ない町では、昼間に在宅している割合が低いためである。

また、高齢化率が30%以上の地区と10%以下の地区の最大電力需要は相対比で約10ポイント程度異なることを示した。このように構築したモデルは、町別の世帯類型の割合の違いによる電力需要プロファイルの差異を表現できるモデルである。

(4) 現状 (BaU) と将来シナリオでの電力マネジメントによる電力需要量およびピーク電力削減効果

a) 現状と将来シナリオにおける電力需要量の比較

図-5 に対象エリア全体および建物属性毎の現状および将来シナリオにおける一世帯当たりの電力需要量を示す。なお、本結果は、先述のとおり、夏季の最大日を想定した結果である。

対象エリア全体でみると2030年には2010年と比べて建て替えが起こることにより、建物の断熱性能が向上し、一世帯当たりの電力需要量は削減される。建物更新による具体的な一世帯当たりの電力需要量の削減効果は、2010年と比べて、現位置建替シナリオで約8%、集住化促進シナリオで約11%であった。また、2030年の戸建住宅の電力需要量が高いのは、2030年には高齢化が進むことにより在宅率が高くなり、昼間の電力需要が大きくなるためである。

以上のことから、高齢化の進展、人口増に対して、集合住宅による集住型の誘導政策が電力需要の削減には効果的であることを定量的に示した。

b) DRによる電力需要量の削減効果

図-6 に現状および将来シナリオ下において、DRの実施の有無による一世帯当たりの電力需要量の差を示す。

今回のDRは、豊田市・北九州市の社会実験によるDRの効果の報告に基づき、夏季の電力需要が最も逼迫する時間帯(13~16時)にDRを導入し、需要家の約50%が反応するとした場合の効果を推定した。

その結果、現状において、町毎の1日の電力需要量の削減率は4~7%の範囲にあり、対象地域全体では約5%の電力需要量が削減可能であることを明らかにした。また、高齢者を含む世帯の割合が多い町のDRによる削減率は、在宅率が相対的に高いため、高い傾向にあった。

DRによる電力需要量の削減量を1世帯当たりで比較すると、2010年段階でDRを行うより、2030年までに行われる建物更新の下でのDRの方が削減量が顕著に大きい。

また、2010年のDRをしないBaUのケースに比べ、更新シナリオ下でDRを実施した場合の削減率は、現位置建替シナリオで11%、集住化促進シナリオで15%となり、相対的に大きな効果が見込めることを示した。

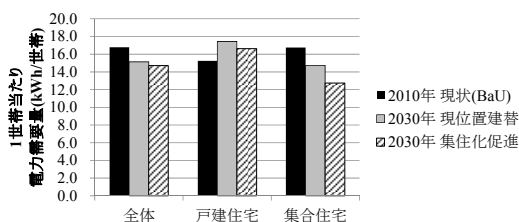


図-5 現状および将来シナリオにおける一世帯当たりの電力需要量の比較

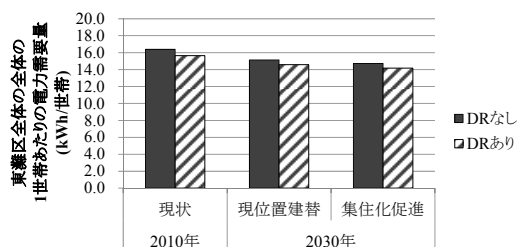


図-6 現状および将来シナリオにおけるデマンドレスポンスの有無による電力需要量の比較

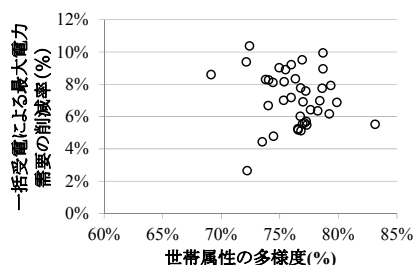


図-7 7類型の世帯属性の多様度と一括受電による最大電力需要の削減率の関係

c) 町単位での一括受電による最大電力需要の削減効果

町単位での一括受電による最大電力需要の削減量を算定し、街区特性との関係を考察するために、ここでは町毎の世帯属性の多様さを表現する指標との関係を考察した。結果を図-7に示す。

ここでの世帯属性の多様度は式(2)で示すシンブソンの多様度指数により算定した。

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad (2)$$

ここで D : 世帯属性の多様度, S : 世帯類型の数 (7 類型), P_i : i の数が全体に占める割合である。

本指標は、各町の世帯属性の多様性を表現するものであり、値が大きいほど多様であることを意味する。すなわち、様々な属性の世帯が混在していることを意味する。

本結果より、町単位での家庭部門の一括受電によるピーク電力需要の削減率は、3~10%の範囲となり、全体としては約7%の効果が得られた。削減率はやや広く分布するが、世帯属性の多様度が高い方が、削減率は高く

なる傾向がみられた。

一括受電の効果を推察すると、住宅、業務、商業等の都市活動の異なる複数の主体の電力需要を対象とした方が明確な効果を見込みうるが、今回のように住宅部門の単一用途の場合であっても、電気の使用方の異なる世帯属性を対象とすることで相応の削減効果が得られることを示した。

5. 結論

本研究では街区単位の住宅部門の電力需要プロファイルを作成するモデルを構築し、神戸市東灘区をケーススタディの対象として、夏季の電力需要最大日を対象に町単位の電力需要を推定した。また、デマンドレスポンス(DR)、町単位での一括受電のオプションの下での電力需要量、およびピーク電力の抑制効果を推定した。さらに、2030年を対象年次とした高齢化の進展と人々の居住選択を将来シナリオとして描き、電力需要への効果を推定し考察した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 構築したモデルは、街区(町)単位の電力需要プロファイルを数値的に良く再現しうる。このモデルの特徴は、世帯類型の違いによる行動(スケジュール)の差異、建物の建築年次および属性(戸建住宅・集合住宅)が断熱特性の差異を通して、電力需要の違いに反映することを描くことができる点にある。使用するデータは、国勢調査、PT調査、都市計画基礎調査、社会生活基本調査等であり、他の都市にも適用可能なモデルである。
- 2) 豊田市・北九州市の社会実験によるDRの効果の報告に基づき、夏季の電力需要が最も逼迫する時間帯(13～16時)にDRを導入した場合の効果を推定した。その結果、町毎の1日の電力需要量の削減率は4～7%の範囲にあり、対象地域全体では約5%の電力需要量が削減可能であることを明らかにした。高齢者を含む世帯の割合が多い町のDRによる削減率は、在宅率が相対的に高いため、高い傾向にあった。
- 3) 町単位での住宅部門の一括受電によるピーク電力需要の削減率は、3～10%の範囲となり、全体としては約7%の効果が得られた。削減率はやや広く分布するが、世帯属性の多様度が高い方が削減率は高い傾向が読み取れた。一括受電の効果を推察すると、住宅、業務、商業等の異なる複数の電力需要の主体を対象とした方が明確な効果を見込みうるが、例えば住宅部門の用途に限定されても、異なる世帯属性を対象とすることで一定の削減効果がシミュレーションの結果として観察された。
- 4) 2030年を目標年次とした建物更新による一世帯当

りの電力需要量の削減効果は、2010年と比べて、現位置建替シナリオで約8%、集住化促進シナリオで約11%であった。この効果はDRによる削減効果(5%)より大きい。また、2010年のDRをしないBaUのケースに比べ、更新シナリオ下でDRを実施した場合の削減率は、現位置建替シナリオで11%、集住化促進シナリオで15%となり、相対的に大きな効果が見込める。

今後、街区を構成する業務系を含んだ街区群単位での電力需要について検討する課題を含め、街区マネジメントの統合が必要である。

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の関係各位に、厚く御礼申し上げる。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) 経産省、スマートハウス標準化検討会：スマートハウス標準化検討会中間取りまとめ(案)、2012。
- 2) 経済産業省、次世代エネルギー・社会システム協議会 <http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004633/017_haifu.html>, 更新日：平成26年5月19日
- 3) JAPAN SMART CITY: 豊田市低炭素社会実証プロジェクト <<http://jscp.nepc.or.jp/article/jscp/20140523/398924/index2.shtml>>, 更新日：平成26年5月29日
- 4) 森田紘圭, 金岡芳美, 加藤博和, 柴原尚希, 林良嗣: 個人の生活スケジュールを考慮した低炭素技術導入によるCO₂排出量への影響分析, 土木学会論文集 G(環境) Vol.69, No.5, pp.1-33-I-43, 2013。
- 5) 石田千香, 森田紘圭, 大西暁生, 川原志郎, 井村秀文, 加藤博和: 電気料金へのデマンドレスポンス制度導入による夏季エネルギー消費量変化の推計, 第49回土木計画学研究発表会, (CD-ROM), 2014。
- 6) 尾崎平, 盛岡通, 野田圭祐: 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, 第49回土木計画学研究発表会, (CD-ROM), 2014。
- 7) 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。
- 8) 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。
- 9) 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
- 10) 野田圭祐, 盛岡通, 尾崎平: 世帯属性別の電力需要の再現モデルの開発—外出・帰宅・就寝行動の時間幅を

考慮して、土木学会論文集 G (環境) 地球環境研究
論文集第 22 卷, (印刷中), 2014.

- 11) 総務省統計局,平成 22 年国勢調査 : <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/>
- 12) 平成 21 年度全国消費実態調査 : <http://www.stat.go.jp/data/zensho/2009/index.htm>
- 13) 神戸市 : 都市計画基礎調査, 2010 年度調査版, 2014.
- 14) 小松幸雄 : 1997 年と 2005 年における家屋の寿命推計, 日本建築学会計画系論文集, Vol.73, No.632, pp.2197-2205, 2008.
- 15) 日本冷凍空調学会 : <http://www.jsrae.or.jp/annai/yougo28.html>
- 16) 住環境計画研究所, 2014 年版 家庭用エネルギーハンドブック, 省エネルギーセンター, 2013.
- 17) 住宅・建築物の省エネルギー基準及び低炭素建築物の認定基準に関する技術情報 : <http://www.kenken.go.jp/becc/>
- 18) 一般財団法人 環境・省エネルギー機構 : <http://www.ibec.or.jp/7>
- 19) 佐藤春樹 : 冷蔵庫・エアコンの実際の電力消費量推定法, 第 4 回住宅エネルギーシンポジウム, pp.1-20 (基調報告), 2005.
- 20) Assessment of Demand Response & Advanced Metering, FERC, 2011.
- 21) 兵庫県企画県民部 : 兵庫県将来推計人口について, 2008.
- 22) 兵庫県企画県民部 : 兵庫県の世帯数の将来推計について, 2008.

(2014. 7. 23 受付)

SIMULATION MODEL FOR PROFILING ELECTRICITY DEMAND OF HOUSEHOLD SECTORS IN SCALE OF DISTRICTS FOR SMART ENERGY MANAGEMENT FOR THE HIGASHI-NADA WARD IN KOBE CITY AS A PILOT STUDY TARGET

Keisuke NODA, Tohru MORIOKA and Taira OZAKI

In this research, a simulation model for profiling electricity demand of household sectors in scale of districts or towns is newly proposed for the purpose of smart energy management. The maximum daily demand accumulating EuP-based consumption amount with every interval of 15 minutes would be estimated in the case of options in any written scenarios for the timeline of 2010-2030 in each districts of Higashi-nada Ward in Kobe City as a pilot study target. This simulation model describing EuP-using patterns with time variances in the particular energy-saving level of house is to be workable under condition of any provided set of data as in national population census, person trip survey, land and floor stock statistics for property management, and survey on time use and leisure activities. The examined options are as follows: introducing demand-response (DR) program, town-wide combined power user system, or buildings renewal with/without facilitating more compact and strategic shrinking space management. The dairy electricity demand in the household sector is expected to be reduced by 5% in the study area total (4~7% for each district), under the similar condition of DR program executed in Kita-Kyushu or Toyota smart city project. The scenarios of renovating housing buildings reveal that 8% peak shaving is available due to in-situ rehabilitation and 11% for compact redevelopment which implies the selective receiving housing demand volume after demolition of obsoleted buildings in terms of multi-family apartment building complex. Furthermore additional 3~4% decrease is to be gained in the condition of the DR program.