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

石田 千香¹・森田 紘圭²・大西 暁生³・川原 志郎⁴・ 井村 秀文⁵・加藤 博和⁶

1学生会員 名古屋大学 環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町) E-mail: cishida@urban.env.nagoya-u.ac.jp

2正会員 大日本コンサルタント株式会社 中部支社技術部 (〒451-0044 名古屋市西区菊井2-19-11)

3正会員 東京都市大学 環境学部 (〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西3-3-1)

4非会員 川崎市環境総合研究所(〒210-0821神奈川県川崎市川崎区殿町3丁目25-13)

5正会員 横浜市立大学グローバル都市協力センター(〒210-0821 神奈川県横浜市金沢区瀬戸22-2) 6正会員 名古屋大学 大学院環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

現在,日本のスマート・シティ推進地区では,様々なピーク時間帯の電力料金を高くすることで特定の時間帯の電力需要を減らすデマンドレスポンス(DR)制度の導入実験が行われている。本研究は,電力料金の変化と居住者の省エネ行動の関係をアンケート調査によって明らかにし,それを用いて都市圏内の夏季エネルギー消費量変化を推計し,居住特性に応じたDR制度の効果を明らかにするものである。名古屋都市圏でケーススタディを行った結果,1日合計の電力消費量,ピーク時間帯の電力消費量ともにDR制度により削減が可能であることが明らかとなった。しかし,ピークシフト行動が認知されてきた場合においては、ピーク時間帯の電力消費量はさらに削減が期待できるものの,1日合計電力消費量の削減効果は低下する可能性が示唆された。

Key Words: Demand Resoponse, Energy Consumption, Activity-Schedule, Smart-grid

1. はじめに

2011 年に発生した東日本大震災では複数の発電所が設備被害を受け稼働停止したことにより、電力供給が大幅に不足し、特に需要の大きい夏季平日において昼間のの電力不足が懸念された。このような電力需給のひっ追に対しては、ピーク需要の削減が必要となる。その方法として太陽光発電による再生可能/分散型エネルギーの供給や蓄電池を用いた電力貯蔵によるピークシフトなどのハード的な対応のほかに、ピーク時間帯の電力料金を高くすることで電力需要の削減を誘導するデマンドレスポンス(DR)制度が注目されている。北九州市や豊田市などのスマートシティを推進している地域では、気温に応じて需要が高いと思われる昼間時間帯の電気料金を引き上げる DR の導入実験りが 2012年ごろから先行して行われ、ピーク時間帯における電力消費量の削減効果が

ある程度期待できることが明らかになっている. さらに、2014 年度からは資源エネルギー庁による実証実験も行われる ²⁰ほか、DR 制度を対象とした市場開設に向けて民間事業者による取り組みも行われつつある. こうした取り組みにより、DR 制度自体の効果は確認されつつある, しかし電力料金の変化に伴う居住者の具体的な省エネ行動への影響については未だ詳細な検討はされていない. また、ピーク時間における節電がその他の時間帯に別の需要を生むことによって、全体のエネルギー消費量が増加する可能性もある.

本研究ではアンケート調査により、夏季の電力料金変化による居住者の行動変化を把握し、ライフステージに応じた生活行動スケジュールからエネルギー消費量変化を推計することで、居住者の特性を踏まえた DR 導入による夏季エネルギー消費量の削減効果を明らかにする.

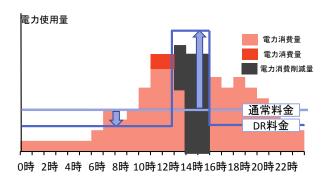


図-1 デマンドレスポンス制度のイメージ

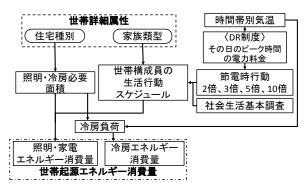


図-2 世帯起源エネルギー消費量推計モデルの全体構成

表-1 世帯構成員と世帯属性

世帯構成員	a)男性有業者-単身, b)女性有業者-単身, c)男性有業者-子供のいない夫, d)女性有業者-子供のいない妻, e)女性無業者-子供のいない妻, f)男性有業者-子育て期の夫, g)女性有業者-子育て期の妻, h)女性無業者-子育て期の妻, i)男性有業者-ひとり親の男親, j)女性有業者-ひとり親の女親, K)教育を受けている時期, l)65歳以上-男性無業者, m)65歳以上-女性無業者, n)65歳以上無業者-単身
世帯類型	1)単身世帯-男性 [a], 2)単身世帯-女性 [b], 3)単身世帯-高齢者 [n], 4)夫婦のみ-共働き [c, d] 5)夫婦のみ-片働き [c, e], 6)夫婦のみ-高齢者 [l, m], 7)夫婦と子-共働き [f, g, k, k] 8)夫婦と子-片働き [f, h, k, k], 9)男親と子 [l, k], 10)女親と子 [j, k] 11)夫婦と子-高齢夫婦と成人子[a, l, m], 12)三世代 [f, g, l, m, k, k]

2. デマンドレスポンスについて

本研究で扱うDR制度について、これまでの実証事例等を参考に、図-1に整理する.通常、電力は想定される需要量に合わせて供給量を設定しているが、需要量が急増する夏季昼間などの時間帯は電力不足が懸念される.DRでは需要量が高い時間帯に、想定される需要量に応じて電気料金を高く設定し、その他時間帯を安く設定することでピーク時の需要を抑え、電力需給バランスを保つことを目的としている.夏季においては、一般に気温が上昇することにより電力消費量は増加する傾向にあるため、気温を指標として電力価格を決定する例も見られる.実際、北九州や豊田市などの実証実験のケースでは夏季に昼間時間帯の予報気温に応じて翌日の電力料金を各家庭に通知する仕組みを導入している.

3. DR導入による世帯起源電力消費量変化の推計

(1) 推計モデルの全体構成

DR導入による世帯起源電力消費量の推計方法の概要を図-2に示す。まず通常時における世帯属性(世帯人数や就業状況から設定した12属性)毎の生活行動スケジュールを社会生活基本調査を基にSCHEDULEプログラム³を用いて設定する。その上で森田ら⁴の方法を用いて生活行動に応じた冷房負荷や照明・家電エネルギー消費量を時間帯毎、1日毎に算出する。

DR制度導入時には、その日の気温に応じたピーク時間電力料金を設定(通常時の2~10倍)し、アンケート調査により得られた料金変化と行動変化の関係について、

世帯属性別の生活行動スケジュールに組み込むことで、 その時間帯における家電、冷房の利用時間や電力消費量 の変化を把握する.

(2) 世帯属性の設定

実証実験では、戸建て住宅地や集合住宅など、類似する世帯条件下での実証が行われてきたが、実際の都市空間においては様々な世帯属性が同一地区に居住しており、世帯属性ごとに生活行動スケジュールや DR 実施時の行動変化も異なると想定される. そこで、本研究では詳細な世帯属性を考慮した分類を行う. 具体的には、性・ライフステージ・就業状態の異なる 19 の世帯構成員を定義し、それらの組み合わせから 12 種類の世帯類型を表1 のとおり設定する. 住宅種別は戸建と集合の 2 分類とし、その住宅延床面積を平成 22 年国勢調査から設定する.

(3) 世帯のエネルギー消費行為スケジュールの作成

分類した世帯構成員別に1日の生活行動スケジュールを整理する. 行動項目については社会生活基本調査より、行動者率が20%以上である生活行動を抽出し、1日あたりの行動時間を合計24時間となるように15分単位で設定する. さらに時間帯別行動者率の調査結果をもとに、それを24時間帯ごとに組み合わせ、1日の生活行動スケジュールを設定する. また、設定した生活スケジュールから、行動時の部屋、使用機器の関係を整理し、時間帯別の住宅内のエネルギー消費行為を設定する.

なお、設定した生活スケジュールから世帯のエネルギー消費行為スケジュールを生成する際は、生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver. 2.0を使用する.

(4) 電力消費量の推計

照明を除く家電機器の消費は部屋の機器別の利用時間,エネルギー消費原単位から求め,部屋毎・時間帯別に算出する。また,照明によるエネルギー消費量は部屋の床面積,在室時間に,部屋用途ごとのエネルギー原単位を乗じることで算出し,それぞれを合算することで照明・家電の電力消費量 Q_a とする。

また、冷房による電力需要量 $Q_{cs+heat}$ は、佐藤 5 の手法を参考に、住宅の熱損失係数Q と人体発熱と家電機器からの発熱(=照明・家電エネルギー消費量)の合計 Q_{heat} から、式(1)により算出する.

$$Q_{cs+heat} = Q \cdot \Delta T \cdot a + Q_{heat} \tag{1}$$

ここで、 ΔT は外気温度と室内温度との差、a は部屋面積である。さらに、各世帯では冷房にエアコンを使用するものとし、電力消費量は、電力需要量をエアコンの成績係数(COP)で、除して算出される。日別時間帯別のCOP は、時間帯別の気温から、カタログ値を補正して求めることができる。

(5) 検討する DR 制度の設定

本研究で検討する DR 制度の概要について,電力料金変化と気温の関係を表-2 に示す. 実施時期は,エアコンの使用量が増加する 7月から 9月を対象とし,日中ピーク時間帯に気温に応じて電気料金を変化させる. 具体的には,北九州の実証事業等を参考に日中 13 時から 16時までの電力料金を気温に応じて設定し,その他の時間帯は通常時より低くなるよう設定する.

(6) アンケート調査の実施

電気料金変化に伴う行動変化を把握するため,2013年11月に名古屋市に在住する1000人を対象にWEBアンケート調査を実施した.具体的には,電力料金が2~10倍に変化した場合それぞれにおいてどのような節電行動を行うか,また,料金の低い午前中に冷房を強め,ピーク時に節電するピークシフト(PS)行動を行う可能性があるかについて調査した.

具体的な行動変化のメニューと電気料金に応じた行動変化割合を表-3に示す.電気料金が上がるほど外出する人や冷蔵庫の庫内温度を上げる人の割合が増え、ピークシフト行動者も増えている.

(7) DR による行動変化の反映

前項の調査結果を生活行動スケジュールに組み込み, それによるエネルギー消費量の変化を計算することで, 通常時との比較が可能となる. 具体的には照明・家電機 器についてはエネルギー消費原単位と利用時間を,冷房

表-2 DR 導入時における電力料金

	通常時	DR制度			
気温(℃)	_	-30	30-32	32-35	35-
13時-16時電気料金(円/kwh)	20	40	60	100	200
その他時間帯電気料金(円/kWh)	20	15	15	15	15

表-3 行動変化メニューと回答割合

	公二系4. J ー _	電気料金			
	行動メニュー	2倍	3倍	5倍	10倍
1	できるだけ外出する	18%	20%	21%	22%
2	できるだけテレビをつけないようにする	16%	17%	18%	17%
3	エアコンの設定温度を通常より上げる	14%	12%	12%	11%
4	エアコンをつけないようにする	19%	19%	19%	18%
5	冷蔵庫の庫内温度を上げる	4%	5%	6%	8%
6	照明をできるだけ使わないようにする	21%	21%	20%	19%
9	特に何もしない	7%	5%	5%	4%
ピークシフト行動を行う		80%	80%	81%	81%

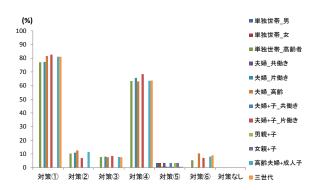


図-3 対策別のピーク時電力消費量削減率

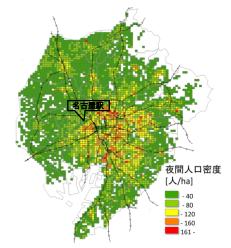


図-4 名古屋都市圏の夜間人口密度

表-4 電気料金2-10倍時の日数

		2倍	3倍	5倍	10倍
	7月	9	8	9	5
	8月	3	6	15	7
	9月	24	5	1	0

機器については内部熱と利用時間を対象に、調査結果を 反映した。図-3 に電力料金 10 倍時の対策別のピーク時 電力消費量削減率を示す。対策①においては外出に伴い 冷房機器やその他家電機器の使用が抑制されるため、昼 間に住宅内で過ごしている高齢者世帯や共働き夫婦世帯 においては、現在よりも大きな削減が期待できる。また、 対策⑤である冷蔵庫の庫内温度調整では、全体的に削減 率は低いものの、日中、住宅内で活動していない単身世帯や共働き夫婦世帯においても削減効果が期待できる.

4. 名古屋都市圏におけるケーススタディ結果

以上の手法を用いて、DR導入による効果を名古屋20km圏において小学校区単位で推計した。図-4に名古屋都市圏の夜間人口分布を示す。また、推計期間は2013年7月~9月とし、気温データは名古屋地方気象台における時間帯別気温を用いた。表-4に月別電気料金の日数を示す。7月~9月で最も多いのは、料金2倍であるが、特に7月と8月は気温が高く、5倍となる日数が最も多い。なお、以降の分析においては、通常時(without)、デマンドレス

ポンス導入時に節電行動のみを行う場合(withDR),デマンドレスポンス導入時に節電行動とピークシフト行動を行う場合(withPS)の3ケースについて比較分析を行う.

(1) 電気料金による時間帯別電力消費量への影響

電気料金が2倍~10倍それぞれについて、ある日の時間別電力消費量の例を図-5に示す。また、表-5に12時と14時におけるwithDR、withPSのwithoutからの増減率を示す。2倍から10倍について、いずれも13時から16時の電力料金増加時刻に電力消費削減効果がみられる。withPSの方がwithDRに比べ削減効果が大きく、電気料金が大きくなるにつれてその差も大きくなる。また、withPSではピークシフト行動により、電力料金の低い時間帯にあらかじめ冷房を強めているため、12時台で消費量が増加し

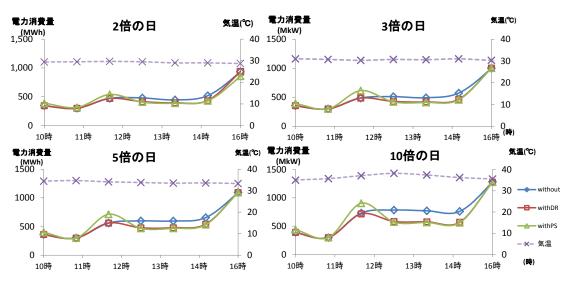


図-5 電気料金別の電力消費量変化の例

5倍 10倍 withDR 14時 -11.22 -19.59 -14.73 -25.12 12時 +14.58 +26.30 +27.11 +23.62 withPS 14時 -12.85 -16.48 -21.29 -26.50

表-5 電気料金別の電力消費量変化率 (%)

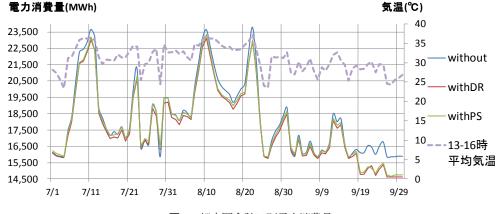
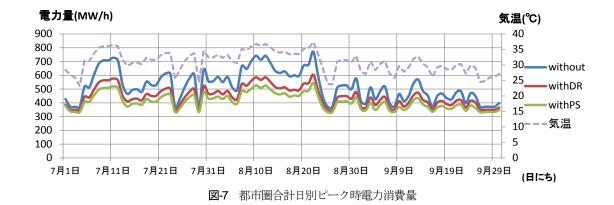


図-6 都市圏合計日別電力消費量



ており、従来のピーク時間帯における電力消費量よりも 電力消費量が大きくなる可能性がある.

(2) 夏季3か月を通した変化

7月から9月の都市圏合計日別電力消費量を図-6に示す. 気温に応じて消費量が変化しており, 気温が高い日ほど1日を通しての電力消費量削減効果が大きくなっている. 一方, ピークシフト行動を伴う場合には, 午前のエネルギー消費量が増加することから, 削減効果は低下する. 更に日別ピーク時電力消費量を図-7に示す. ピークシフト行動が節電に影響していることが明らかとなった.

(3) 小地区別の電力消費量変化

ピーク時の学区別電力削減率を図-8に示す.都市周縁部においては、昼間に構成員の誰かが住宅内にいることが多い家族世帯の割合が大きいため、地区としての電力消費量の削減率が大きい.一方で、都市中心部は単身世帯が多く、もともと日中に住宅内で活動していないために、削減率は小さい.

5. おわりに

本研究では DR 制度の効果を生活行動の観点から,アンケート調査結果を用いて定量的に明らかにした. その結果, DR 導入による電力消費量削減は大きく期待でき,さらにピークシフト行動の有無によってピーク時間帯と全体の消費量とでトレードオフが発生することが明らかとなった.

謝辞:本研究は,環境省地球環境研究推進費 IE-1105「低炭素 社会を実現する街区群の設計と社会実装プロセス」及び2-1414

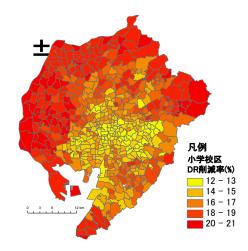


図-8 小学校区別の電力消費量削減率

「地域インベントリ解析による環境成長拠点の計画と評価モデルの開発」を受けて実施した。ここに記して謝意を表する.

参考文献

- Japan Smart City Portal(JSCP): http://jscp.nepc.or.jp/,
 2013
- 2) 資源エネルギー庁:インセンティブ型ディマンドレスポンス実証実験を開始します,2013.
- 3) 空気調和衛生工学会: SCHEDULE Ver.2.0—生活スケ ジュール自動生成プログラム, 2000.
- 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),69(5),pp.33-43,2013.
- 5) 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,2005,

http://tkkankyo.eng.niigata-u.ac.jp/HP/HP/sympo4/sinpo04.htm(2014/04/24 閲覧)

AN EFFECT OF A "DEMAND RESPONSE" POWER MODEL TO ENERGY CONSUMPTION OF SUMMER

Chika ISHIDA, Hiroyoshi MORITA, Akio ONISHI, Shiro KAWAHARA, Hidefumi IMURA and Hirokazu KATO