デマンドレスポンスに資するリアルタイムモニタリングを用いた建物群の電力デマンドマネージメントの有効性に関する考察

DISCUSSION OF EFFECTIVENESS ABOUT ELECTRICAL DEMAND MANAGEMENT FOR BUILDINGS UTILIZING REALTIME ENERGY MONITORING SYSTEM WHICH CONTRIBUTES TO A DEMAND RESPONSE

迫 博司 ——— * 1 野城智也 ——— * 2
馬郡文平 ——— * 3

Hiroshi SAKO ——— * 1 Tomonari YASHIRO — * 2
Bumpei MAGORI ——— * 3

キーワード：
リアルタイムエネルギーモニタリング, 建物群エネルギー管理,
電力デマンド, エネルギーマネージメント, デマンドレスポンス

Keywords:
Real-time energy monitoring, Energy management of buildings,
Electricity demand, Energy management, Demand response

This paper reports the effectiveness of electrical demand management for many buildings utilizing real-time energy monitoring system which contributes to the demand response. Reduction method of peak electrical demand for one building is limited. However, reduction methods of electrical demand for few buildings have more ideas than the method for one building. Electrical peak demands of 26 buildings were reduced 38% in 2011, summer.

1. はじめに

2011年の夏は、2011年3月11日の東日本大震災の影響により、東京電力・東北電力管轄において、電力需給が逼迫する状況となった。そのため、政府は、最大電力デマンド（本報では、1時間当たりの電力消費量を電力デマンドとして取り扱う）を2010年比15%以上の削減を要求する電力使用制限令を、契約電力500kW以上の建物に対して、2011年7月1日から施行した。2011年の夏は、法令施行決定から実施までの時間が短かったため、建物毎のきめ細かい電力デマンドの抑制対策の十分な検討時間が無かった。そのため、運用において共通で実施できる最大電力デマンド抑制対策を、より多くの建物で実施する必要があった。

既往の研究では、2011年夏の電力デマンドの抑制実績を報告するものは多いが、建物群を対象に電力デマンド抑制の特徴を考察した研究はみられない。本報は、大手金融機関の所有する東京電力・東北電力管轄の契約電力50kW以上の高圧受電建物120棟の建物を対象に、建物群の電力デマンドの抑制結果の特徴を分析し、さらに、建物群で電力デマンドを取り扱う場合の電力デマンド抑制効果について考察することを目的とする。具体的には、120建物に対して、1分毎の電力消費量をリアルタイムで計測、インターネットを通じて、一元的にモニタリングを行い、その電力消費量の分析を行った。

2. 対象建物と電力デマンド抑制対策の概要

2.1 対象建物概要

対象建物は、東京電力管轄100棟、東北電力管轄20棟の合計120建物である。対象建物の立地を、図1に示す。建物規模は、約19

万㎡の大規模建物から約800㎡の小規模建物まで多岐にわたり、その平均延床面積は、約18,000㎡である。建物用途は、108棟がオフィス主体のビルで、ホテル、集合住宅、複合商業施設、研修センター、データセンターも含まれている。（表2）

2.2 電力デマンド抑制対策概要

120建物で実施した電力デマンドの抑制対策を表1に示す。対策は、建物オーナーから建物の設備管理者とテナントに対して書面で実施を依頼した。共用部は、全ての建物で実施したが、テナントが利用する専用部に関しては、テナントの判断により実施の有無を決定した。そのため、専用部における電力デマンド抑制対策に関しては、正確な実施状況の把握に至らなかったが、時節柄、多くのテナントが実施したと考えられる。

図1 対象建物の分布

¹ 東京大学生産技術研究所 民間等共同研究員
(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 Be508)
(株)エービル

² 東京大学生産技術研究所 教授・博士(工学)

³ 東京大学生産技術研究所 特任講師・博士(工学)

¹ Research Fellow, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo

Alter Buildings Japan

² Prof., Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

³ Lecturer, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

3. 電力デマンドの発生傾向の分析

3.1 建物毎の電力デマンドの抑制結果

120 建物には、リアルタイムの電力消費量モニタリングの実施とあわせて、電力デマンドを予測し、予測値が管理値を超えた場合に、警報メールを現地のビル管理者、または、ビル管理者が不在の建物は、予め決めたビル利用者へ送信するシステムを導入した。2011 年の夏は、電力デマンド予測値が 2010 年の契約電力の 85%を超える場合に、警報メールを送信した。ビル管理者が常駐している建物では、メール受信後に一部の機械を停止するなどの電力デマンド抑制の対策を実施した。しかし、ビル利用者へのメール送信は、その対策が実施できなかった。

120 建物の 2010 年の契約電力と 2011 年夏の最大電力デマンドの発生日、及び、最大電力デマンドを、表 2 に示す。最大電力デマンドの集計対象期間は、電力使用制限令の 2011 年 7 月 1 日～9 月 9 日の期間としている。集計対象は、電力使用制限令の対象外の時間である休日、夜間を含む 24 時間のデータを含んでいる。

契約電力 500kW 以上の 37 建物の最大電力デマンドの 2010 年の契約電力に対する平均削減率は、27.5%であった。また、500kW 未満の 83 建物の最大電力デマンドの平均削減率は、27.0%であった。建物毎に最大電力デマンドの対契約電力比率をみると、101.5%から 17.9%まで様々である。(電力使用制限令の対象期間では、契約電力 500kW 以上の 37 建物全てが 15%の電力デマンド抑制を達成している。)これらの削減率の差には、以下のような建物の利用状況の違いや気象条件に起因する項目と本年実施した電力デマンド抑制対策に起因する項目が含まれていると考えられる。

①建物の利用状況・気象状況に起因する項目

- ・2010 年と 2011 年のテナント入居率の差
- ・2010 年の契約電力と 2010 年の最大電力デマンドとの差
(2010 年の契約電力に対する最大電力デマンドの余裕の有無)
- ・2010 年までに行っていた省エネルギー運用の実施状況
(充分な省エネルギー対策の実施の有無)

・2010 年と 2011 年の外気条件の差

②電力デマンド抑制対策に起因する項目

- ・表 1 の電力デマンド抑制対策の実施範囲

上記の①建物の利用状況に起因する項目の状況が、建物毎に違うため、建物毎の電力デマンドの抑制効果の考察は難しいと考える。建物利用状況の詳細の確認できた建物では、建物 No65 は、空きテナントが 2010 年夏に入居となったため前年の電力デマンドを超えていたことが分かった。また、建物 No98 は、充分な省エネルギー運用と契約電力の削減を 2010 年に行っていたため、2011 年に削減余地が無かった建物であった。

3.2 電力デマンド発生日と外気温度の関係

各建物の最大電力デマンドの発生日と外気温度の関係を図-2 に示す。外気温度が高い日に、電力デマンドが発生しやすいことが分かる。特に、建物が休館となり空調停止後の月曜日で、かつ、外気温度が高くなった 7 月 11 日(月)(最高外気温度 34.9℃)、8 月 15 日(月)(最高外気温度 34.5℃)や、外気温度が最も高くなった 8 月 18 日(木)(最高外気温度 36.0℃)に、最大電力デマンドが多数発生している。最大電力デマンド発生の可能性は、蓄熱負荷と外気

温度との関係が強いと言える。

表 1 電力デマンドの抑制対策

エリア	対策項目
共用部	空調の停止
	換気機器の一部停止
	照明の70%程度の間引き点灯
	給湯の停止
	出退社時間以外のエレベータの一部運転停止
専用部	空調設定温度の緩和
	照明のこまめな消灯・間引き点灯
	離席時のOA機器の電源オフ
	コピー機の節電モードへの切替
	待機電源のオフ
	階段利用の推奨

表2 2011 年夏の電力デマンド抑制実績

ビル No	契約電力 kW	最大 電力 発生日	最大 電力 kW	対契約 電力比率	建物 種別	分類	ビル No	契約電力 kW	最大 電力 発生日	最大 電力 kW	対契約 電力比率	建物 種別	分類
1	7,100	7月12日	5800	81.7%	オ	①	61	295	9月5日	231	78.3%	オ	④
2	6,984	8月9日	5556	79.6%	オ	①	62	281	8月18日	227	80.8%	オ	④
3	6,000	7月5日	4720	78.7%	オ	③	63	278	7月11日	218	78.4%	オ	④
4	6,000	8月18日	2460	41.0%	オ	④	64	274	8月18日	198	72.3%	オ	④
5	5,040	7月11日	3084	61.2%	オ	④	65	270	7月27日	274	101.5%	オ	④
6	4,512	8月18日	4308	95.5%	ホ	②	66	261	8月18日	130	49.8%	オ	④
7	4,512	8月22日	2900	64.3%	オ	③	67	248	8月18日	199	80.2%	オ	④
8	3,528	8月17日	2860	81.1%	オ	④	68	241	7月15日	187	77.6%	オ	④
9	2,651	7月12日	1762	66.5%	オ	④	69	239	7月15日	180	75.3%	オ	④
10	2,640	7月2日	2030	76.9%	デ	①	70	239	7月14日	185	77.4%	オ	④
11	2,500	8月9日	650	26.0%	オ	④	71	229	8月11日	193	84.3%	オ	④
12	2,200	8月3日	1637	74.4%	オ	④	72	222	7月11日	174	78.4%	オ	④
13	2,180	9月9日	1770	81.2%	オ	④	73	220	8月17日	152	69.1%	オ	④
14	1,892	9月2日	1505	79.5%	オ	④	74	220	7月11日	172	78.2%	オ	③
15	1,860	7月9日	1635	87.9%	オ	④	75	219	7月1日	102	46.6%	オ	④
16	1,709	8月9日	1379	80.7%	オ	④	76	218	7月7日	155	71.1%	住	⑤
17	1,657	8月8日	1244	75.1%	オ	④	77	213	8月17日	175	82.2%	オ	④
18	1,416	7月11日	1100	77.7%	複	④	78	213	8月29日	172	80.8%	オ	④
19	1,190	8月10日	812	68.2%	複	④	79	201	9月5日	155	77.1%	オ	④
20	1,176	8月19日	868	73.8%	オ	④	80	197	8月19日	130	66.0%	オ	④
21	1,140	8月18日	905	79.4%	オ	④	81	197	8月18日	134	68.0%	オ	④
22	1,080	8月18日	813	75.3%	オ	④	82	193	7月14日	157	81.3%	オ	④
23	1,022	9月5日	778	76.1%	研	⑤	83	193	7月11日	159	82.4%	オ	④
24	912	8月18日	711	78.0%	オ	④	84	190	8月19日	136	71.6%	オ	④
25	888	8月18日	590	66.4%	オ	④	85	174	7月13日	146	83.9%	オ	④
26	797	8月18日	542	68.0%	複	④	86	169	8月17日	116	68.6%	オ	④
27	768	8月18日	586	76.3%	オ	④	87	165	8月4日	62	37.6%	オ	④
28	759	8月11日	538	70.9%	オ	②	88	161	7月19日	131	81.4%	オ	③
29	720	7月11日	458	63.6%	オ	④	89	159	7月19日	127	79.9%	住	④
30	696	8月18日	595	85.5%	オ	④	90	158	8月18日	122	77.2%	オ	④
31	680	7月14日	564	82.9%	オ	④	91	147	8月17日	118	80.3%	オ	④
32	672	8月10日	487	72.5%	オ	④	92	139	8月17日	71	51.1%	オ	④
33	624	8月8日	494	79.2%	オ	④	93	138	8月15日	89	64.5%	オ	④
34	624	8月18日	454	72.8%	オ	④	94	137	8月17日	120	87.6%	オ	④
35	552	8月15日	448	81.2%	オ	④	95	135	8月27日	83	61.5%	オ	④
36	528	7月4日	387	73.3%	オ	④	96	133	8月17日	111	83.5%	オ	④
37	518	8月15日	406	78.4%	オ	④	97	127	7月11日	100	78.7%	オ	④
38	492	8月18日	323	65.7%	オ	④	98	113	8月18日	114	100.9%	オ	④
39	482	9月9日	297	61.6%	オ	③	99	112	7月4日	89	79.5%	オ	④
40	458	9月8日	298	65.1%	研	⑤	100	111	8月31日	90	81.1%	オ	④
41	454	7月11日	363	80.0%	オ	④	101	107	8月17日	70	65.4%	オ	④
42	444	8月18日	356	80.2%	オ	④	102	106	8月18日	89	84.0%	複	④
43	408	8月10日	369	90.4%	住	②	103	104	8月22日	60	57.7%	オ	④
44	403	8月10日	313	77.7%	オ	④	104	92	8月17日	59	64.1%	オ	④
45	402	8月8日	254	63.2%	オ	④	105	90	8月17日	73	81.1%	オ	④
46	392	7月15日	320	81.6%	オ	④	106	83	7月11日	58	69.9%	オ	④
47	389	7月13日	286	73.5%	オ	④	107	79	8月18日	50	63.3%	オ	④
48	371	7月19日	261	70.4%	オ	④	108	79	8月18日	69	87.3%	オ	④
49	367	7月11日	219	59.7%	オ	④	109	78	7月29日	19	24.4%	複	④
50	360	7月12日	286	79.4%	オ	④	110	75	8月15日	38	50.7%	オ	④
51	358	8月18日	243	67.9%	オ	④	111	75	8月15日	43	57.3%	オ	④
52	350	8月18日	233	66.6%	オ	③	112	74	8月18日	54	73.0%	オ	④
53	342	8月18日	237	69.3%	オ	④	113	67	8月15日	12	17.9%	オ	④
54	325	7月16日	259	79.7%	オ	④	114	66	7月13日	53	80.3%	オ	④
55	322	8月15日	232	72.0%	オ	②	115	61	8月16日	40	65.6%	オ	④
56	307	7月19日	216	70.4%	オ	④	116	61	8月15日	45	73.8%	オ	④
57	306	7月11日	272	88.9%	オ	④	117	61	7月19日	18	29.5%	オ	④
58	305	7月11日	247	81.0%	オ	④	118	57	8月20日	32	56.1%	オ	④
59	301	8月25日	241	80.1%	オ	④	119	56	8月2日	37	66.1%	オ	④
60	300	7月15日	192	64.0%	オ	③	120	50	8月2日	11	22.0%	オ	④

*1 オ: オフィス、ホ: ホテル、住: 集合住宅、複: 複合商業施設、研: 研修センター、デ: データセンター *2 分類は、図3の①～⑥を示す
建物種別件数: オフィス108件 ホテル1件 集合住宅3件 複合商業施設5件 研修センター2件 データセンター1件
分類別件数: ①1件 ②4件 ③8件 ④93件 ⑤4件 ⑥10件

図 2 最大電力デマンド発生日と外気温度

3.3 電力デマンドの発生傾向の分析

電力デマンド抑制の状況を把握するため、120 建物の電力デマンド発生傾向の分析を行った。2011 年 7 月 1 日から 9 月 9 日までの期間の毎時の電力デマンド実績データ (N=71 日×24 時間=1704) を大きい順に並べ、電力デマンドの発生傾向を把握した (図 3 左図)。

電力デマンド降順では、図中の左上の突出した電力デマンドの発生状況や一般的なオフィスの稼働時間に相当する平日の昼 9 時間の N=459 時間 (N=平日 51 日×9 時間=459) までの電力デマンドの平準化状況、さらに N=495 時間以降の時間帯の電力デマンドの発生状況を中心に考察した。また、同期間で最大電力デマンド発生日の電力デマンドの 1 日の変化 (図 3 右) をあわせて考察した。その結果、120 建物の電力デマンド降順は、93 建物が④に分類され、全部で 6 パターンに分類できることが分かった。(表 2、図 3)

①電力負荷平準建物 (ビル No10 電算センター 1 建物)

大型電算センターでは、電力デマンドの変化が非常に少ない。経時変化においても、昼と夜の電力消費量の差が小さい。最大電力デマンドは契約電力の 77%に抑えている。

②電力負荷緩やかに右下がり建物 (大型ホテル他 4 建物)

大型ホテルでは、電力デマンドは、緩やかに右肩下がりになっている。経時変化においては、朝 7 時と夜 22 時にピークが発生している。契約電力比率では、95%となっているが、電力使用制限令対象時間では、84%に抑制している。

③ピーク抑制建物 (建物 No7 自社使用オフィス他 8 建物)

自社オフィスは、電力デマンド抑制対策の実施を行いやすい。そのため、オフィス稼働時間の N=459 附近までの電力デマンドは、平準化している。電力デマンド発生日の経時変化においても、8 時～18 時の電力消費量は平準化されている。最大電力デマンドは、契約電力の 64%であった。

④ピーク発生建物 (建物 No27 テナントオフィスビル他 93 建物)

テナントオフィスビルは、テナント専用部の電力デマンド抑制対策の実行が難しいため、電力デマンドの抑制率が少ない。電力デマンドは、外気温度やテナントの利用状況に大きく影響される。電力デマンド降順では、図上の左上の突出した電力デマンドの発生し、電力デマンドは右肩下がりの特性となっている。最大電力デマンドは、契約電力の 76%に抑制している。

⑤休館対応建物 (建物 No23 自社研修施設他 4 建物)

本建物は、自社研修施設で、営業時間、営業日を自社で設定できる建物である。電力デマンドが懸念される 7 月 1 日～8 月 28 日までは、建物全体を休館としている。8 月 29 日以降は、研修施設を利用開始しているため、287 時間までに電力デマンドの山が発生している。運転開始期間の電力デマンドは、76%に抑制されている。しかし、休館としている期間では、13%に抑制していることとなる。

⑥夜間電力平準化タイプ (建物 No19 蓄熱システム他 10 建物)

本建物は、商業施設のため昼の電力デマンドの発生状況は、テナントオフィスビルと同様に右肩下がりの傾向となっている。しかし、夜間の時間は、データセンターのように電力消費が平準化している。これは、電気熱源により夜間に蓄熱運転を行っていることに起因する。本建物は、最大電力デマンドは、68%に抑制している。テナントオフィスビルの 76%に対して大きく電力デマンドを抑制できていることは、蓄熱システムによる運用の影響があるものと考えられる。

図 3 電力デマンド発生傾向と最大電力デマンド発生日の経時変化

4. 最大電力デマンドと電力消費量の分析

2011 年夏の最大電力デマンド発生日の 24 時間の電力消費量と契約電力、及び 2011 年夏の最大電力デマンドを単位面積当たりへ換算し、相関を分析した。対象建物は、120 建物全てとし、契約電力 500kW 以上の大型建物と契約電力 500kW 未満の小口建物に分類して行った（図 4・5）。

その結果、契約電力と 1 日の電力消費量には、 $R^2=0.56\sim0.58$ と強い相関は無かった。しかし、電力デマンド抑制の対策を行った 2011 年夏の最大電力デマンドの発生した日の 1 日の電力消費量と最大電力デマンドの間には、建物規模に関係なく、 $R^2=0.85\sim0.90$ の強い相関があることが分かった。

この結果から、表 1 の電力デマンド抑制対策、及び、電力デマンドの予測、警報メール送信を行う建物において、一日の電力消費量に相関して、最大電力デマンドが推定できると考えられる。

5. 建物群における電力デマンドのマネージメントの有効性

一つの建物における電力デマンドは、4 章より一日の電力消費量に相関して推定できる。一方、建物の電力デマンドの発生傾向は、3 章 3 に記述のとおり 6 パターンに分類でき、また、6 パターン毎に最大電力デマンドの発生する時間は違っている。すなわち、最大電力デマンドの発生パターンの違う建物群を一元的に電力デマンド管理することで、1 建物の電力デマンド抑制より大きな電力デマンド抑制効果が期待できる。

そこで、120 建物の内、図 3 の 6 建物を含む東京近郊の 26 建物（建物 No2～5, 7, 9～12, 15, 18～25, 27, 29, 30, 33～37）の合計電力量をリアルタイムでモニタリングを実施し、電力デマンド抑制の効果検証を行った。前述の電力デマンド抑制対策に加えて、No23 の自社研修施設（図 3 の⑤）は、7～8 月の期間を休館とし、9 月以降に運営を再開した。また、No7 の自社利用建物（図 3 の③）では、営業日、営業時間を、組織毎にずらす輪番営業を行った。26 建物の日時の違う各々の建物の 2011 年夏の最大電力デマンドの合計（表 2 の 26 建物の最大電力デマンドの合計）は、36,844kW で、26 建物の契約電力合計 52,210kW に対して 70.6%となっていた。一方、2011 年夏の 26 建物群の最大電力デマンドの合計は、9 月 2 日（金）11:00 の 32,441kW（図 6）であり、これは、建物毎の最大電力デマンド合計の 62%に抑制したことになる。26 建物群の最大電力デマンド合計は、建物毎の合計より、大きな抑制効果があることが分かる。

6. まとめ

表 1 の電力デマンド抑制対策、及び、電力デマンドの予測、警報メール送信を行うことで、一日の電力消費量に相関して、最大電力デマンドが推定できること、また、電力デマンドの発生傾向は、6 パターンに分類できることが分かった。これらの知見から電力デマンドの発生パターンの違う建物を組み合わせて、一元的に電力デマンドを管理することで、1 建物より大きな電力デマンド抑制効果を得られることが検証できた。

今後は、電力デマンドの発生パターンの違う複数の建物をお互い合わせることに加えて、建物の休業日や利用フロアを建物毎にずらすなどのオペレーションによって電力デマンドの抑制量をさらに大きくできると考えられる。

図 4 契約電力・2011 年夏の最大電力デマンドと 24 時間電力消費量の相関（契約電力 500kW 以上 37 建物）

図 5 契約電力・2011 年夏の最大電力デマンドと 24 時間電力消費量の相関（契約電力 500kW 未満 83 建物）

図 6 26 建物の毎時電力消費量
（最大電力デマンド発生日 2011 年 9 月 2 日）
（集計建物 No2～5,7,9～12,15,18～25,27,29,30,33～37）

おわりに

建物群の電力消費量、さらには、ガスなどの他のエネルギー源をリアルタイムに同時にマネージメントする手法は、エネルギー利用の最適化・平準化に極めて有効と考える。今後は、建物群のエネルギーマネージメントの理論構築を行っていきたい。

参考文献

- 1) 迫博司、馬郡文平、野城智也：既存建物のエネルギー・モニタリングによる CO2 排出量削減可能性に関する研究、日本建築学会第 26 回建築生産シンポジウム、2010 年 7 月、pp145-150

[2012 年 10 月 17 日原稿受理 2013 年 3 月 8 日採用決定]