

# デマンドレスポンス・アグリゲータによる節電要請の最適化

2013SE221 鳥山達矢

指導教員：福嶋雅夫

## 1 はじめに

デマンドレスポンス (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 [1]。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大きく二つに分けられる。

インセンティブベースとは、プログラム設置者（電気事業者、系統運用者）が需要家と契約を締結し、卸電力価格が高騰又は電力需給が逼迫した際に、負荷抑制・遮断を要請又は実施する仕組み [1] である。需要家の節電によって余った電力を発電したことと同等にみなすネガワット (negawatt)[2] という考え方から、ネガワット取引と呼ばれる、電力会社との間であらかじめピーク時などに節電する契約を結んだ上で、電力会社から依頼に応じて節電した場合に対価を得る仕様ができた。デマンドレスポンス・アグリゲータ (DRA) とは、DR プログラムに参加する需要家を募集し、電力会社や系統運用機関に DR サービスを集約して提供する仲介事業者である。

日本では、従来のエネルギー政策として、基本的にはエネルギー需要を所与のものとして、エネルギー供給をどのように行うべきかという視点からの政策が中心となっていた。しかし、東日本大震災を皮切りにエネルギー供給の制約や集中型エネルギーシステムの脆弱性が明らかとなり、現在の省エネルギー政策に加え、DR を導入することの重要性が現在認識されつつある。

## 2 A 社の事業として導入する背景

平成 28 年度から電力の小売り自由化が始まり、A 社も電力事業に参入している。消費者は現在、電気料金や付属するサービス、環境への配慮などを基準に各自で電力会社を選択できる。電力の自由化が始まり、小売事業者はコストのかかる発電所を持たずに、電力会社から電気を得ている。この発電施設への投資がおろそかになっている状況に、将来的には、政府から小売事業者に一定の発電余力（一定量は自社発電できる状態）を持つことが要請される可能性がある。そのため A 社を含め小売事業者は、規制回避のため DR に注目している。小売事業者による発電量を抑制して現状の発電施設の発電量を維持し、さらに多数の消費者を確保することが目的である。

## 3 問題設定

節電要請時に、節電量があらかじめ宣言した量の  $\pm 10\%$  以内であれば、DR は成功したとして、あらかじめ宣言した

節電量に比例する報酬がもらえる。しかしながら、DR が失敗したときの報酬はない。DRA は、配下に複数の需要家グループを有し、それぞれの需要家グループについて節電要請を行う需要家の割合を決定できるものとする。DRA のもとに  $N$  個の需要家グループ  $G_i, i = 1, 2, \dots, N$  があるとする。需要家グループ  $G_i$  に属する需要家全員に節電要請を行ったときに達成される節電量を  $W_i$  とする。ただし、実際に達成される節電量は事前に確定的に知ることはできないので、 $W_i, i = 1, 2, \dots, N$  は確率変数として扱う必要がある。DRA 各々の需要家グループ  $G_i, i = 1, 2, \dots, N$  に属する需要家の  $100x_i\%$  に対して節電要請を行うとする。 $x_i$  を需要家グループ  $G_i$  の採用率と呼び、 $x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$  と書く。DRA が電力系統運用者に対して宣言する節電量を  $z$  とし、 $c > 0$  を報酬単価を表す定数とする。節電量  $W(x)$  の実現値が  $0.9z$  と  $1.1z$  の範囲からはずれた場合は、本来なら報酬は得られないが、ここでは、実現値が  $0.9z$  に達しない場合あるいは  $1.1z$  を超えた場合には、その違反量に比例したペナルティが差し引かれるものとする。1 単位の違反に対するペナルティを表す定数を  $d > 0$  とする。需要家グループの節電量  $W = (W_1, W_2, \dots, W_N)$  の各シナリオの実現値を  $w_k = (w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{kN}), k = 1, 2, \dots, M$ 、シナリオ  $k$  の起こる確率を  $p_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, M$  (ただし  $\sum_{i=1}^M p_k = 1$ ) とし、変数  $s_k, t_k, k = 1, 2, \dots, M$  を導入する。そのとき、DRA が得る報酬の期待値を最大化する問題は次のように表される。

$$\begin{aligned} \max \quad & cz - d \sum_{k=1}^M p_k (s_k + t_k) \\ \text{s.t.} \quad & 0 \leq x_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, N \\ & s_k \geq 0.9z - \sum_{i=1}^N w_{ki} x_i \\ & s_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, M \\ & t_k \geq \sum_{i=1}^N w_{ki} x_i - 1.1z \\ & t_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, M \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、変数は  $x = (x_1, x_2, \dots, x_N), s = (s_1, s_2, \dots, s_M), t = (t_1, t_2, \dots, t_M)$  および  $z$  である。

## 4 計算実験

計算実験 1 では、需要家グループ数  $N$  を 6、シナリオの数  $M$  を 20 とする。

問題 (1) の最適解において、節電量が宣言された量  $z$  の  $\pm 10\%$  以内の (すなわち  $s_k = 0, t_k = 0$  となる) シナリオ  $W_k$  の数を  $a$  とする。 $M (= 20)$  個のシナリオ中の  $a$  の割合を  $A = \frac{a}{M}$  とし、達成率と呼ぶ。また、DRA が得る報酬

の期待値  $E$  を次式で定める.

$$E = cz * A$$

各シナリオ  $W_k$  が起きる確率  $p_k$  はすべて等しいとし, 報酬単価  $c$  を 100 と固定する. 1 単位の違反に対するペナルティ  $d$  を 100 から 50 ずつ増加させたとき, 最適な宣言節電量  $z$  と達成率  $A$ , および実際に得た報酬の額がどのように変化するかを調べる.

需要家グループ  $G_i, i = 1, 2, \dots, 6$  の節電量  $W_i$  は表 1 に示す平均  $\mu_i$ , 分散  $\sigma_i^2$  の正規分布に従うと仮定し, シナリオ 20 個を 1 組とするデータを 10 セット分, 乱数を用いて生成する.

表 1

	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$G_5$	$G_6$
$\mu_i$	200	0	150	50	300	100
$\sigma_i^2$	100	100	100	100	200	200

## 5 結果と考察

問題 (1) の最適解における宣言節電量  $z$  と目的関数値は, ペナルティ定数  $d$  が増加するに伴って減少する. 一方, DRA が得る報酬の期待値  $E$  と達成率  $A$  にはそのような単調性はみられない. 達成率  $A$  は宣言節電量  $z$  にほぼ反比例した動きをするが, DRA が得る報酬の期待値  $E$  の振る舞いには共通点は見られず, 解にばらつきがみられた. 計算実験 1 に加えて, 6 つの需要家グループと 100 個のシナリオの場合を考え, 100 シナリオを 10 セット分生成して計算実験を行った (これを計算実験 2 と呼ぶ) が, 上記の点については, ほぼ同じ結果が得られた.

計算実験 1 ではペナルティ  $d$  が 700 前後を越えると  $x = 0, z = 0$  となる最適解が得られた. これに対して, 計算実験 2 では, ペナルティ  $d$  が 500 前後を越えると同様の結果が得られた. 計算実験 1 と 2 はシナリオ数が 5 倍差があることから, 問題が複雑になり, そのような結果になったと考えられる. 計算実験 2 では, 達成率  $A$  が各セットで最大でも 20% 前後となった. そのため図 2 のように, 達成率  $A$  のグラフの傾きが小さく, ペナルティ  $d$  が比較的小さいときに, DRA が得る報酬の期待値  $E$  が最大になる傾向が強かった. また, 図 1 のように, 達成率  $A$  のグラフが右上がりだが上下に変動するときは, その極大にあわせて  $E$  の値が大きくなる. そして  $A$  のグラフの傾きが大きくなるほど, ペナルティ  $d$  が大きいときに  $E$  は最大になる傾向がみられた.

以上のことから, 計算実験 1 では全体を通して達成率  $A$  が 40% 前後のとき, 計算実験 2 では 20% のときに, リスクが少なく, 報酬が多く得られる解が得られることがわかった. DRA は宣言節電量  $z$  を適切な達成率  $A$  になるよう定めると満足できる報酬を得られると考えられる.

## 6 おわりに

本研究では, 電力系統運用者に対して DRA が宣言する節電量をどのように設定すれば DRA が得る報酬の期待値を最大にできるかという問題に取り組んだ. 今後エネルギー業界において重要な役割を担うであろう DRA が, 得られる報酬の期待値を最大にするために活用できると期待できる.

### 参考文献

- [1] 経済産業省:『ディマンドレスポンスについて』  
[http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/denryoku\\_system\\_kaikaku/002\\_s01\\_01\\_05.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/denryoku_system_kaikaku/002_s01_01_05.pdf)
- [2] 資源エネルギー庁 新産業・社会システム推進室:『ディマンドレスポンスについて～新たな省エネのかたち～』平成 26 年 10 月  
[http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene\\_shinene/sho\\_ene/pdf/006\\_03\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/sho_ene/pdf/006_03_00.pdf)

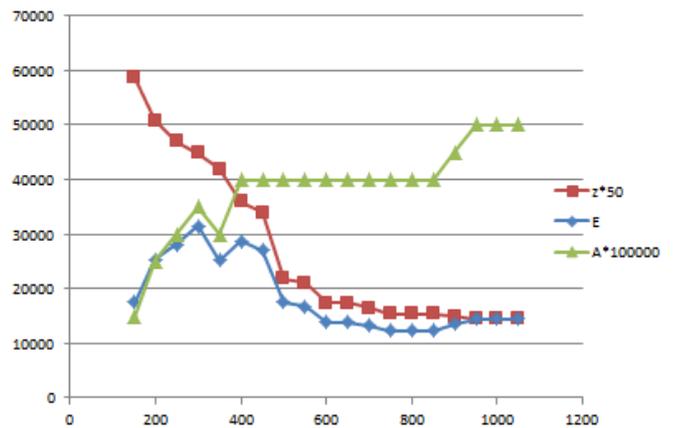


図 1 計算実験 1 の解の例

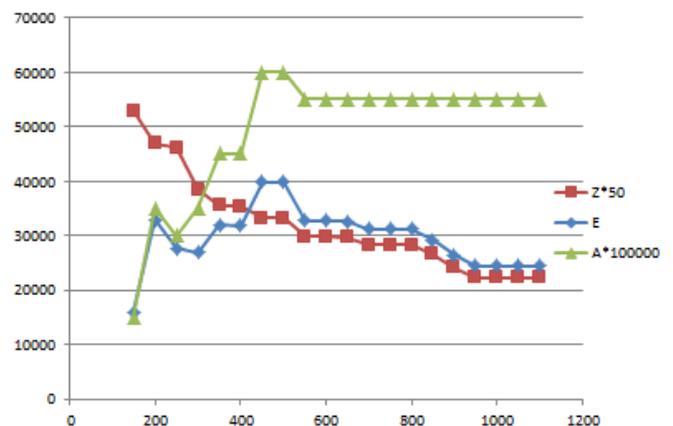


図 2 計算実験 1 の解の例