

# 水蓄熱槽を活用した電力需給調整手法に関する研究 — 広範囲な DR 時間帯に対応する熱源制御手法の検討 —

澤崎 令汰

## 1. はじめに

近年、企業や自治体などが所有する生産設備、自家用発電設備、蓄電池、電気自動車(EV)などの地域に分散しているエネルギーソースを相互につなぎ、IoT 技術を活用しコントロールすることで、まるで一つの発電所のように機能させる Virtual Power Plant (以下、VPP)という仕組みが注目されている。VPP を活用した電力需給の安定化を図る方法の一つとして、電気の需要と供給のバランスをとるために、電力消費側のエネルギーリソースを制御することで電力の使用量を増減させる Demand Response(以下、DR)があげられる。

本研究では、これまでは様々な運転方法の検討し、実建物における実証実験を行ってきた。昨年度は下げ DR 発動時間帯を 15 時から 18 時と想定した DR 運転方法について実証実験を行い、一定の成果を得たり。しかし実際の DR 発動時間帯は不確定であることから、今年度は、より広い時間帯で下げ DR に対応できる水蓄熱空調システムの運用方法を、実証実験を行い検討する。また建物によって従来の運用方法では十分な DR 結果を出せない既存建物もある。それらの既存建物がより良い DR 結果を出せる運用方法の推定を行う。

## 2. 実証実験

### 2.1 対象建物概要

本研究では水蓄熱槽を持つ建物を研究対象としている。対象建物の概要を表 1 に示す。対象建物は、今治市に位置する 4 階建ての A ビルとした。対象建物の空調システムの詳細を図 1 に示す。また対象建物の熱源等仕様値に関しては表 2 に示す。A ビルは水蓄熱槽からの放熱のみで建物全体の空調を行っている。夏は 2 台とも HP を活用し、冬期は 1 台のみの HP を活用する。

### 2.2 下げ DR 評価方法

下げ DR を評価するにあたって必要である、ベースライン算定方法や DR 量の算出方法などについて示す。第一に電力需給調整力提供の達成・未達成について示す。本来の条件では、各施設単位で、1 コマ(30 分単位)で評価するものだが、対象施設の電力計測が 1 時間間隔であるため、電力需給調整力提供の達成・未達成に関しては 2 コマ(1 時間単位)で行う。次にベースライン算定方法について示す。ベースラインとは熱源が通常運転で稼働している場合に想定される電力量に当日補正值を加えた値のことをいう。ベースラインの算定はネガワット取引に関する

ガイドラインに記載された High 4 of 5 方式<sup>2)</sup>を用いて行う。算定方法についての図を図 2 に示す。DR 実施日の直近 5 日間のうち、平均需要量の多い 4 日間の電力需要量の 1 時間単位の平均値がベースラインとなる。ただし直近 5 日間の条件として以下の条件を適用し、条件を満たさない日については直近 5 日間から除外する。この際、分母となる 5 日間を確保するために更に日を遡る。除外対象条件は、①土曜日、日曜日、祝日、②過去の DR 実施日、③電力需要量の平均値が直近 5 日間の電力需要量の総平均値の 25%未満の日とする。当日調整については、DR 実施時間の 5 時間前から 2 時間前までの実受電電力と High 4 of 5 方式で求めたベースラインの差の平均値を算出する。

## 2.2 実験概要

### 2.2.1 実験手順

- 実験の手順、測定項目については下記に示す通りとする。
- I. 測定機器の設置。
  - II. 蓄熱槽設定温度等の変更、ベースライン用運転。
  - III. DR 実験開始。
  - IV. 実測値を記録が終わった後、測定装置を回収。

### 2.2.2 夏期実証実験

#### (a) 運用方法

実際の DR 発動は指令 3 時間前までいつ起こるか不明

表 1 建物概要

所在地	愛媛県今治市
用途	事務所ビル
延床面積	3,280㎡
階数	地上4階
槽容量・槽数	205.9㎡・12槽
熱源の定格能力	64.0kW(冷専)、76.0kW
熱源の構造	空冷HP式

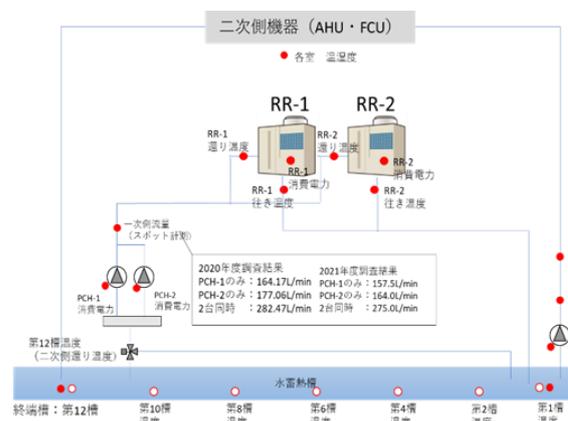


図 1 空調システム

である。四国地方の2021年度、2020年度の電力予備率に注目すると、予備率が5%以下となりひっ迫する時間帯が、9時から12時、17時から20時に多いことがわかる。そのため夏期実証実験ではより広い時間帯で下げDRに対応できるようにDR発動時間帯を9時から12時、17時から20時に2パターン分けることにした。夏期実験では午前中に7回、午後には6回の下げDRを発動させた。熱源運用方法は、昼間、夜間併用の蓄熱運転を行った。通常運転は2パターンのDR発動時間帯は熱源を強制運転させ、また下げDR運転はDR発動3時間前から発動まで強制運転させた。(午前のDR発動時間帯の場合17時から20時は強制運転を行った。)夜間蓄熱に関しては外気温度に合わせて実験経過とともに変更した。Aビルにおける水蓄熱槽の通常時と実験時の運用設定値を表2にて示す。

従来の研究では当日調整時間帯は4時間前から1時間前とされてきたが、意図的に当日調整時間帯に需要を増加させ、DR評価量を増加させることが可能という意見から2024年度に当日調整時間帯を5時間前から2時間前に改定されることを受け、本実験では当日調整時間帯は5時間前から2時間前とする。

(b) 実験結果・分析

夏期の実験では結果として熱源をすべてのDR発動中に完全停止することができた。また当日調整なしのDR量も定格消費電力とおおよそ一致していた。しかし、全実験期間中熱源が運用方法通り動いたわけではなかった。9/21(月)は9時から12時の間の時間帯の強制運転が行われていなかった。9/21の蓄熱槽内温度と槽内蓄熱量の推移を図3に示す。図3に注目すると、強制運転時間帯の槽内温度は安定しており、蓄熱量も十分にあった。熱源が運転しなかったのは週末に十分な蓄熱がされたため熱源が動かなかったことがわかった。これより週末の運用方法を考慮することが大切だとわかる。

当日調整を加えたDR量に注目したとき、他のDR発動日に比べて9/5(月)のDR量が著しく低く、当日調整値にばらつきがあった。9/5の建物全体の消費電力推移を図4に示す。9/5は前述した9/21と同じく週明けであり、週末に十分に蓄熱が行われていた。そのため9/5の当日調整時間帯である4時から7時の間に熱源が動かなかった。結果として当日調整値がマイナスとなり当日調整を加えたDR量が低くなってしまった。本研究では当日調整時間帯を5時間前から2時間前にしたが、運用方法は当日調整に関して考慮があまりされていなかった。これより当日調整に対して運用方法の検討が必要であることがわかる。

2.2.3 冬期実証実験

(a) 運用方法

冬期実証実験では夏期実証実験の際に出た、当日調整の影響と週末の運用方法を考慮し、DR発動想定時間帯を17時から20時、16時から19時、9時から12時の3パターンに分けて行った。熱源の運用方法は、3パターンの下



図2 high 4 of 5方式

表2 水蓄熱槽設定温度

項目	設定値		備考	
	現状	実験期間 下(下)に適用(注) DR発動日以降)		
蓄熱運転 三方弁開 扉・露	貯-タンク <sup>①</sup>	2200~800	200~600	※休日停止
	1次貯-タンク <sup>②</sup>	—	—	チラー運転
	開始条件	第2槽	第2槽	
	12槽1000(以上)開始	12.0C	12.0C	
	停止条件	第10槽	第10槽	
強制運転	貯-タンク <sup>①</sup>	2300~2310	DR発動3日前~ DR発動時 18:00前までに 発動される場合、 17:00~強制運転 は実施	DR発動時等は 9~12時、17~20時 で設定する。
	1次貯-タンク <sup>②</sup>	—	—	チラー運転
	開始条件	—	—	
	12槽1000(以上)開始	—	—	
	停止条件	第2槽	第10槽	第10槽
強制停止	貯-タンク <sup>①</sup>	実験条件時等	800~2200	
	1次貯-タンク <sup>②</sup>	—	—	チラー運転
	開始条件	—	第1槽、第10槽	
	12槽1000(以上)開始	—	18.0C、10.0C	
	停止条件	第10槽	第1槽	12.0C
三方弁閉鎖	チラー入口温度設定	14.0C	14.0C	

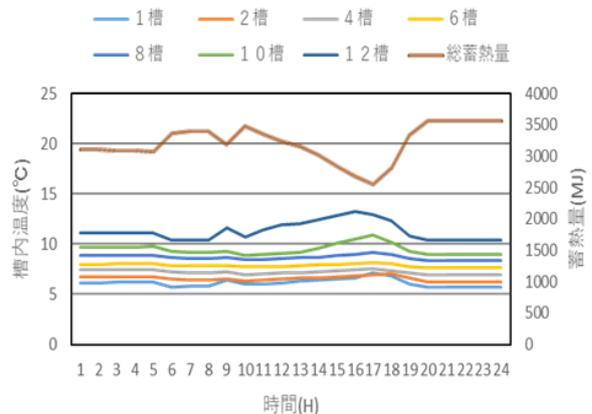


図3 9/21槽内温度、蓄熱量推移

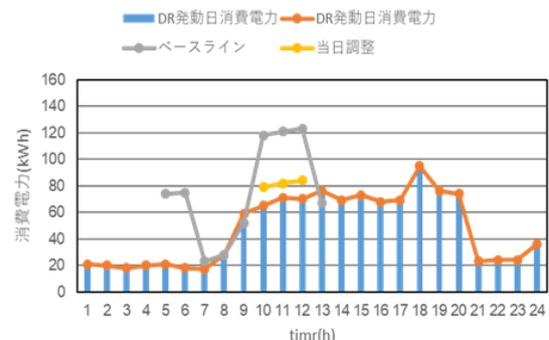


図4 9/5建物全体の消費電力推移

げ DR 運転、非 DR 運転(平日)、非 DR 運転(休日)の 5 つに分けて行った。それぞれの蓄熱時間等をまとめたものを表 3 に示す。夜間蓄熱は第 2 槽 42°C以下で起動、第 10 槽 45°C以上で停止、昼間蓄熱(強制運転) 第 10 槽 45°C以上で停止とした。また非下げ DR 運転(休日)の昼間蓄熱(追掛運転)は、第 1 槽 40°C以下かつ第 10 槽 45°C以下で起動。第 1 槽 43°C以上もしくは第 10 槽 45°C以上で停止とした。

### (b) 実験結果・分析

冬期実証実験では 3 パターンの下げ DR 運転を日ずつ行い、計 3 回の下げ DR を発動させた。3 回すべての DR 発動時間帯において熱源を完全に停止することができた。また当日調整なしの DR 量も定格消費電力とおおよそ一致しており、熱源は運用方法通りに動いた。夏期の問題点であった、休日に十分な蓄熱がされてしまう点に関して、休日の運用方法を変更したため解決することができた。当日調整を加えた DR 量は多少のばらつきはあるが、3 日とも当日調整値はプラスであり夏期のもう 1 つの問題点であった当日調整の影響に関して解決することができた。

2022 年の夏期、冬期にそれぞれ実証実験を行い、本実験の目的であるより広い時間帯で DR 発動に対応できる熱源運転を検討する、という目的を達成することができた。しかしながら今回の実証実験はビルコンを使い、十分な熱源能力、槽容量がそろっていたので成功した日もあった。水蓄熱槽を利用した電力需給調整手法をより普遍的にするためには、それぞれの建物の仕様に対して、適切な熱源運転方法で活用しなければならない。

### 3. シミュレーション検討

既往研究<sup>1)</sup>において広域ポテンシャルについて研究したものがあ。その中で水蓄熱槽を持つ 137 の対象建物をシミュレーションにかけ、DR 量、DR 達成率を求めて、DR 量、DR 達成率が高いものや低いものの特徴を示したものであった。下げ DR において DR 量は対象建物の延床面積に対する熱源能力の値と延床面積に対する槽容量の値が大きければ、DR 量も大きくなるとい関係性があった。また DR 達成率においては対象建物の延床面積に対する熱源能力の値と延床面積に対する槽容量の値のどちらか一方の値が大きかったり、小さかったりすると、達成率が低くなることが多く、2 つの値のバランスが良ければ DR 達成率が高くなりやすいことが明らかにされた。

本節では、節では、主に下げ DR 達成率が低い対象建物に対して、より達成率を上げることのできる蓄熱槽運用方法の検討を行う。延床面積に対する槽容量の値と延床面積に対する熱源能力の値のバランスが悪いものにフォーカスを充てる。またより効率的な運用方法を用いたと

きに、格消費電力の割合などで変わってくる契約料金がどの割合の場合が、一番利益が高くなるのかについて考察していく。そのため本研究で使うシミュレーションのシステムや、DR 発動スケジュール、対象建築物、DR 発動時間帯などに関しては、より比較しやすいように既往研究<sup>1)</sup>で使ったデータを引用して研究を行った。

#### 3.1 シミュレーションの概要

本研究で用いるシミュレーションでは、対象建築物の 2 次側負荷の詳細データがない。そのためエネルギーシミュレーションツール「The BEST Program (BEST : Building Energy Simulation Tool<sup>4)</sup>)」を用いて建物の 2 次側負荷を推定し、入力値とする。ツールを利用して、中規模と小規模の事務所ビル 2 種類を想定し、延床面積で線形補間を行い対象エリア管内における事務所ビルの 2 次側負荷を推定する。BEST プログラムでは、各建物の延床面積を基に 2 次側負荷を推定したが、実際の建物の中で、蓄熱空調システムだけで負荷を処理している建物は少なく、想定した負荷の中で蓄熱槽もしくは、熱源で処理しきれないものは、他の空調システムで処理していると仮定して補正を行った。また実際の蓄熱槽の設計はピーク負荷に対して、熱源能力の余裕が 20%あるように設計を行う<sup>5)</sup>。そのため、負荷計算補正後の日積算ピーク負荷が、蓄熱容量と余裕率 20%を考慮した熱源の追掛生産熱量の合計より小さくなるよう、2 次側補正係数を作成した。

次に、シミュレーションにおける DR 発動日に関しては対象エリア管内の JPEX(Japan Electric Power eXchange)のスポット市場におけるシステムプライス<sup>6)</sup>に基づき DR の発動条件を定める。システムプライスとは、スポット取引の約定計算で得られた全国大の売り入札曲線と買い入札曲線の交点の価格である。本研究では既往研究<sup>2)</sup>との比較をしやすいするために、2021 年のデータを用いる。そのため 7 月から 9 月における下げ DR は 15 回発動されると想定される。

シミュレーションにおける下げ DR 運用方法を図 5 に

表 3 冬期実証実験運用方法

	夜間蓄熱	昼間蓄熱	強制停止
下げDR運転 (17時から20時)	20時～4時	9時～12時	4時～9時,12時～14時
		14時～17時	17時～20時
下げDR運転 (16時から19時)	20時～4時	9時～12時	4時～9時,12時～13時
		13時～16時	16時～19時
下げDR運転 (9時から12時)	20時～4時	9時～12時	4時～6時
		13時～16時	9時～12時
非下げDR運転 (平日)	20時～4時	9時～12時	4時～9時
		16時～20時	12時～16時
非下げDR運転 (休日)		8時～18時	

示す。昼間、夜間共に蓄熱運転を行い、槽容量、熱源能力が小さいものでも十分な蓄熱を行い熱源を止めれるように、強制運転を DR 発動前 3 時間行った。

### 3.2 シミュレーション結果・分析

#### (a) 下げ DR 達成率

図 5 の運用方法でシミュレーションを行った結果、既往研究において達成率が 40%以下だった対象建物はすべて下げ DR 達成率を上昇させることができた。また DR 量に関しても上昇させることができた。一方で元々達成率が高い対象建物においても上昇率こそ低いと同様に DR 量、達成率共に上昇させることができた。

対象建物の中でも、上昇率にはばらつきがある。それぞれの対象建物の延床面積に対する熱源能力の値と延床面積に対する槽容量の値の図を図 6 にて示す。前述したようにそれぞれの値のバランスが悪ければ、達成率は低くなる傾向にある。それと同様で、全体的に達成率は高くなかったが 2 つの値が離れているものほど上昇率がほかのものに比べて低いことがわかった。これらの結果より図 5 の運用方法は、当初の目的であった達成率の低い対象建物をより高いものとする。という目的は達成したと言える。

#### (b) DR 報酬の検討

今節では本研究の運用方法において、最も利益の出る調整契約電力の検討をする。対象は前節の達成率が低かった対象建物とする。DR 報酬の計算方法としては、年間報酬から経済的ペナルティを差し引いたものとする。年間報酬に関しては、2022 年度の容量市場の約定価格実績値<sup>12)</sup>をもとに設定する。実績値から本研究では、DR 報酬を 3.495[円/(kW・年)]として検討する。調整契約電力は定格消費電力の割合で決定する。従来の割合としては定格消費電力の 7 割が普遍的ではあるが、本研究では 7 割のほかに 8.9 割を検討対象とする。

次に経済的ペナルティの計算方法について示す。ペナルティ計算は DR 発動 1 回ごとに行うものとする。DR 発動 1 回あたりを 6 コマとして、調整契約電力を満たしていないコマ数、また未達成量を計算する。この計算を全 DR 発動日にて行い、その後 DR 発動の 1 回あたりの足りない kWh 量の平均を求める。従来の DR 発動回数は最大 12 回とされているが、本研究は 15 回の下げ DR を発動しているため、15 回を 12 回換算して行う。未達成平均 kWh 量を出した後、年間報酬[円]×110[%]×未達成平均 kWh 量/(調整契約電力(kW)×3[h/回]×12[回])で一日あたりの平均経済的ペナルティ金額を求める。

調整契約電力を上げた場合、達成するコマ数が多くなるため、その分ペナルティが大きくなるのが懸念点と

してあげられる。実際、定格消費電力の 9 割を調整契約電力とした場合、達成率が下がってしまう対象建物があった。しかしすべての対象建物で定格消費電力の 9 割を調整契約電力とした DR 報酬が 1 番大きくなった。これらより現在の DR のルールにおいて、本研究の運用方法における調整契約電力は、定格消費電力の 9 割が最も利益が出るものだとわかった。

### 4. まとめ

本研究では、事務所ビルにおける水蓄熱槽のより広範囲の時間帯で下げ DR に対応できる運用方法を明らかにし、さらにシミュレーションを活用することで、様々な仕様に対応した運転方法を推定した。

今後は、事務所ビル以外の用途の建物が下げ DR に対応できる運用方法を検討すること、シミュレーションにおいて、当日調整を加え建物情報をより詳細にすることで精度の高い検討ができる。

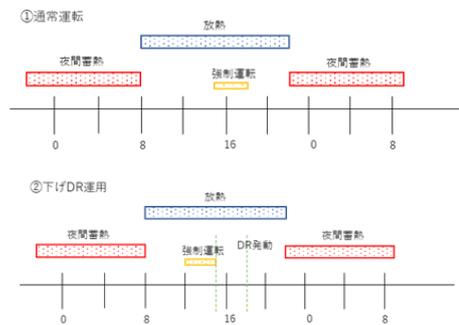


図 5 シミュレーション運用方法

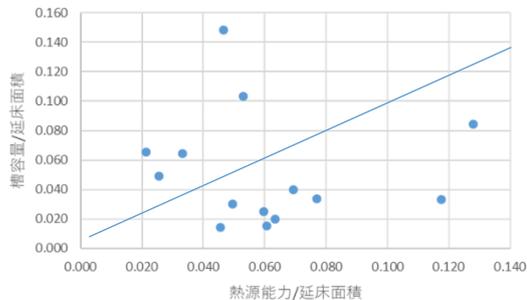


図 6 対象建物の延床面積に対する熱源能力、槽容量値

#### 【参考文献】

- 1) 福庭他：建築設備を活用した電力需要調整に関する研究(その5)水蓄熱空調設備を利用した DR 運用の実証実験、令和3年度大会(福島)学術講演論文集第 10 巻都市・環境編、2021 年 9 月 p73-76
- 2) 資源エネルギー庁：2020 年エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネスに関するガイドライン p22<https://www.meti.go.jp/press/2020/06/20200601001/20200601001-1.pdf> 2022 年 12 月参照
- 3) 電力広域的運営推進機関：2021 年容量市場容量確保契約約款の改定版公表について [https://www.oecto.or.jp/marketboard/market/oshirase/2021/211201\\_youryoukakuho\\_ko\\_uhyou.html](https://www.oecto.or.jp/marketboard/market/oshirase/2021/211201_youryoukakuho_ko_uhyou.html) 2022 年 12 月参照
- 4) 牧村 功, 他：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その 239)BEST 事業マネジメントの『いままでとこれから』, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2020 年 9 月 9 巻, p.49-52
- 5) 「ヒートポンプ・蓄熱システムの至近の動向と省エネ取組事例」(出典：一般財団法人ヒートポンプセンター, 2019 年 2 月, p.38)
- 6) 「JEPX スポット市場：システムプライス」(出典：一般法人 日本卸電力取引所)