

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140）

## 蓄電池プログラムの改良

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 140)

### Improvements in Modules for Power Storage Systems

正会員 ○滝澤 総（日建設計） 特別会員 村上 周三（建築環境・省エネルギー機構）  
 技術フェロー 柳原 隆司（東京電機大学） 正会員 二宮 博史（日建設計）  
 正会員 大西 由佳（鹿島建設）

So TAKIZAWA\*<sup>1</sup> Shuzo MURAKAMI\*<sup>2</sup> Ryuji YANAGIHARA\*<sup>3</sup> Hiroshi NINOMIYA\*<sup>1</sup> Yuka OHNISHI\*<sup>4</sup>

\*<sup>1</sup>Nikken Sekkei \*<sup>2</sup>Institute for Building Environment and Energy Conservation \*<sup>3</sup>Tokyo Denki University \*<sup>4</sup>Kajima Corporation

This study aims to develop a calculation tool “BEST”, which is able to simulate overall energy consumption of MEP systems. This paper presents the outline of improvements in modules for power storage systems in BEST.

#### 1. はじめに

東日本大震災以降、電力平準化設備として普及の期待が高まっている蓄電池システムのプログラム開発を進めてきた<sup>1)</sup>。この度、より製品、運用の実態に即したシミュレーションを可能にするべく、対象蓄電池種別の拡大、パラメータの精査・設定、計算方法の整理を実施したので、その改良状況を報告する。

#### 2. 蓄電池プログラムの概要

BEST 蓄電池プログラムは電力貯蔵システムを扱うものである。ここで電力貯蔵システムとは、電力貯蔵装置により常時に電力の貯蔵を行い、必要に応じ電力の平準化等を目的に、連続的に電力の供給を行う機能を有するものとする。電力貯蔵装置としては、リチウムイオン電池（以降 LIB 電池または LIB）、ナトリウム・硫黄電池（以降 NAS 電池または NAS）、鉛蓄電池（以降、鉛電池または鉛）等を想定している。システムとして電力貯蔵装置に加え、パワーコンディショナ（以下、PCS）、バッテリーマネジメントシステム（以下、BMU）等を有するものと想定しているが、後述の効率の設定によって、これらの機器（例えば PCS）を含まない場合、想定外の機器（例えば昇圧変圧器等）を含む場合も、エネルギー計算上は反映可能である。電力貯蔵システムは、貯蔵装置及び制御対象の状態によって、放電、充電（蓄電）、待機の3つの状態を取る。本プログラムの入出力と状態を図-1に、各状態における基本動作を図-2に、主要なパラメータの定義を図-3、図-4に、計算に当たり設定するパラメータとその留意事項を表-1に示す。電池種別ごとに効率等のデフォルト値

を設定しているが、製品や使い勝手（急速充放電等）に合わせ見直しが必要である。表-1のパラメータを用いると、充電時、放電時、待機時の効率は、 $\eta_{\text{充電時}} = \eta_{\text{PCS\_IN}} * \eta_{\text{AUX}} * \eta_{\text{BATT}}$ 、 $\eta_{\text{放電時}} = \eta_{\text{PCS\_OUT}}$ 、 $\eta_{\text{待機時}} = \eta_{\text{STANDBY}}$ となる。

#### 2.1 制御方法

制御対象として受電電力と自然エネルギー発電電力を想定しており、受電電力に対しては夜間電力を貯めて日中に活用するピークシフト制御とピークカット制御を、自然エネルギー発電電力に対しては発電電力平準化（一定値）制御の、計3種類の制御方式を想定している（図-6）。

ここで、ピークシフト制御は、主として昼間の受電電力を抑制するために許可時間帯に指定された電力を放電するもの、ピークカット制御は受電電力の目標値を超過した電力を放電するものであって組合せ可能である。なお蓄電池システムにおけるピークカット制御は、蓄熱システムにおけるピークカット（昼間時間帯に圧縮機停止）とは定義が異なるため留意が必要である。

発電電力平準化（一定値）制御は、太陽電池等変動要素のある発電装置と組み合わせて使用し、発電出力が目標値を下回っているときに放電、上回っているときには充電して、時間内の発電出力を一定とするものである。蓄電容量にも目標値（商用充電充足率上限値）があり、商用充電の許可時間帯内であれば、発電出力が不足している時間帯は商用電力が充電される。商用電力への逆潮流あるいは商用電力と連系せず蓄電池システムが独立運転する場合の仕様には不明な点も多く、

本プログラムは事業継続性(BCP) 目的でのシミュレーションは対象としていない。

## 2.2 各制御の計算方法

ピークシフト・ピークカット制御時の計算方法を表-2 に、発電電力平準化(一定値)制御時を表-3 に示す。

## 3.おわりに

新たに取り組んだパラメータの精査, 対象蓄電池種別の拡大, 各種効率の設定, 計算方法の整理について改良状況を報告した。しかし, 蓄電池技術は発展途上であり, 建物での運用実績もまだまだ少ない。今後蓄積されると予想される実績を踏まえ, 更なる改良を続けていきたい。

### 【謝辞】

本報は, (一財) 建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST コンソーシアム」「BEST 企画委員会(村上周三委員長)」及び専門版開発委員会(石野久彌委員長), 省エネ計画書作成ツール開発委員会(坂本雄三委員長), 蓄熱・蓄電等システム検討SWG(柳原隆司主査)の活動成果の一部であり, 関係各位に謝意を表するものである。蓄熱・蓄電システム検討SWG・蓄電池関連検討会名簿(順不同)主査: 柳原隆司(東京電機大学), 委員: 二宮博史, 滝澤総(以上, 日建設計), 小澤正一(東京電力), 辻川知伸(NTT ファシリティーズ), 兵藤健一(中部電力), 中村憲一(関電工), 小林浩(トーエネック), 事務局: 松原隆彦, 早瀬訓, 大西由佳(平成26年3月末まで), 木下昭夫(平成26年4月より, 以上ヒートポンプ・蓄熱センター)

### 【参考文献】

1) 滝澤ほか, 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129)蓄電池プログラムの特徴と試算事例, 平成25年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.69~72



$$\Delta \text{蓄電容量}_{\text{放電時}} = - \text{放電電力} / \eta_{\text{放電時}}$$

$$\text{充電電力}_{\text{充電時}} = - \Delta \text{蓄電容量} / \eta_{\text{充電時}}$$

$$\Delta \text{蓄電容量}_{\text{待機時}} = \pm 0,$$

$$\text{待機電力}_{\text{待機時}} = - \text{定格放電電力} * (1 - \eta_{\text{待機時}})$$

ここで,  $\Delta$ 蓄電容量は蓄電容量の単位時間当たり差分とし, 充電時(増容量時)プラスとする。充放電電力は充電時・待機時をマイナス, 放電時をプラスとする。

図-2 各状態における本プログラムの基本動作



図-1 蓄電池プログラムの入出力と状態



図-3 蓄電容量と充放電電力の定義

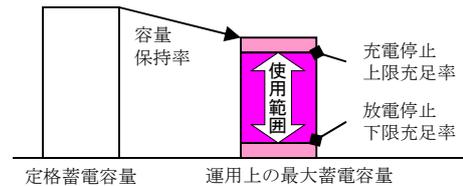


図-4 定格蓄電容量・容量保持率・各充足率の定義

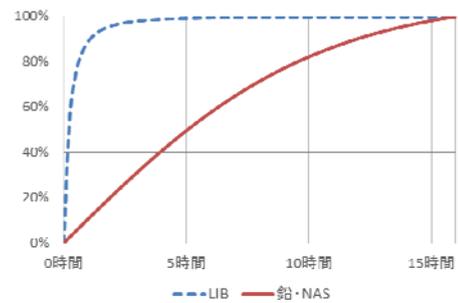


図-5 充電特性

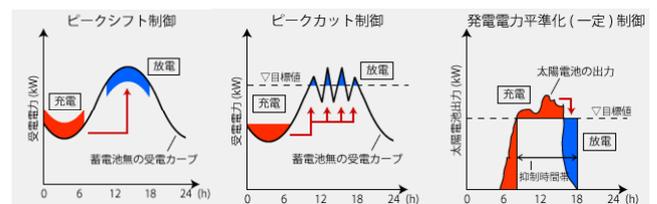


図-6 蓄電池の制御方法イメージ図

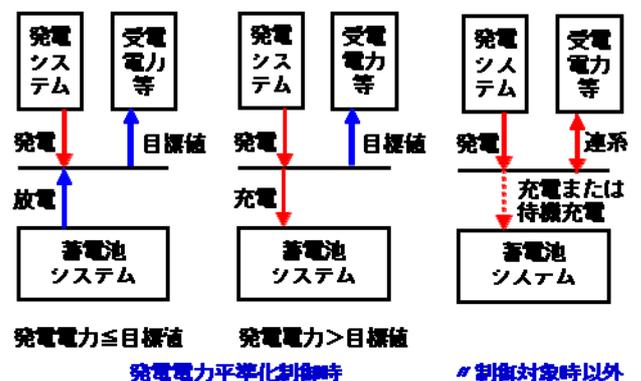


図-7 発電電力平準化制御時のフロー

表 1 蓄電池プログラムにおけるパラメータの留意事項

名称	単位	入力に当たっての留意事項	デフォルト値	下限値	上限値
定格蓄電容量	kWh	図3に示す蓄電池出力端の数値とする。NASの場合は、容量保持率を見込まない最大蓄電容量とする。		0	
容量保持率		容量劣化により経年後に定格蓄電容量を満足しないことを考慮した低減係数であり、本プログラムでは、運用上の最大蓄電容量を定格蓄電容量×容量保持率としている(図4参照)。なお経年はシミュレーションでの想定時期とし、必ずしも寿命末期とする必要はない。	LIB:0.8 NAS:0.72 鉛:0.8	0.0	1.0
定格放電電力	kW	充放電電力の上限値であって、図3に示すPCS出力端の数値とする。kVA表記の場合、相当する力率を乗じた入力とする。PCSの定格時充電電力も同様の数値とする。本数値に対して容量保持率は考慮しない。		0	
初期蓄電容量	kWh	シミュレーション開始時の蓄電池の充電量。	0	0	定格蓄電容量
放電停止 下限充足率		放電を停止する蓄電容量(放電下限容量)の、運用上の最大蓄電容量に対する比である(図4参照)。本プログラムの初期値は0.0(完全放電)であるが、寿命延長や停電対応等の観点から、完全放電としない場合に設定する。	0.0	0.0	1.0
充電停止 上限充足率		充電を停止する蓄電容量(充電上限容量)の、運用上の最大蓄電容量に対する比である(同上)。本プログラムの初期値は1.0(完全充電)であるが、寿命延長等の観点から完全充電としない場合に設定する。	1.0	0.0	1.0
ピークシフト 制御	充電時間帯 (時)	充電と放電を許容する時間帯を設定する。充電時間帯と放電時間帯を重複して設定した場合は、充電動作が優先される。 *充電運転スケジュールが「(選択なし)」の時に有効。	充電 22-8 放電 8-22	充放電時ともフリー	
	ベース 放電電力 kW	ピークシフト制御時の放電許容時間帯に一定量で放電する際に設定する。定格放電電力以下で入力する。		0	
	充放電 運転 スケジュール	ピークシフト制御時の放電許容時間帯内に放電量を変化させる際に設定する。1時間ごとに放電電力設定値の定格放電電力に対する比でスケジュール入力する。年間3種類まで設定可能。 *運転スケジュールは別途作成しておく。		0.0	1.0
ピークカット 制御	有無	ピークシフト制御との組合せとなる。受電電力目標値超過量分を補償するよう制御。有においては、充放電時間帯とも考慮するか、放電時間帯のみ考慮するか選択する。 *ピークカット(放電)制御は放電時のみ目標値を適用する。 *ピークカット(充放電)制御は充電と放電時に目標値を適用する。	充放電有		
	目標値 kW	ピークカット制御する場合の受電電力の目標値		0	
使い切り制御		有無を設定する。有とした場合、許可時間帯で残量を放電する。残量が受電電力より大きい場合は受電電力までの放電とし、許可時間帯内で順次放電とする(平均化しない)。	無		
(自然 エネルギー 発電用)	発電電力 平準化 (一定値) 制御	発電電力平準化制御での目標値。本プログラムでは一定値とする。放電許容時間帯で自然エネルギー発電量が本数値未満であれば放電、本数値以上であれば充電する。商用充電許可時間帯で自然エネルギー発電量充電後の蓄電容量が商用充電充足率未満であれば商用電源からも補充充電とする。		0	
	商用充電 充足率 上限値	商用充電を停止する蓄電容量の運用上の最大蓄電容量に対する比である。	0.5	0	1.0
	時間帯	自然エネルギー発電から充電は常時行われるものとし、商用充電と放電を許容する時間帯を設定する。なお、自然エネルギー発電からの充電においても定格放電電力以下で、かつ蓄電容量の充電停止上限充足率を上限とし、これを超過する発電量は有効利用されない。	充電 0-24 放電 9-15	充放電時ともフリー	
充電時間率		「定格」蓄電容量の充電に必要な時間。本プログラムでは無次元として扱う。蓄電池は充電時間率の逆数×定格蓄電容量で充電される。	LIB:5.0 NAS:10.0 鉛:10.0	0より大	24.0
充電特性考慮		有無を設定する。有とした場合、内蔵の充電特性(蓄電容量-充電時間、図5)と充電時間率の双方を考慮する。	有		
効率	PCS (充電時) (放電時)	充電時または放電時におけるPCSの効率。以下、 $\eta_{PCS\_IN}$ 、 $\eta_{PCS\_OUT}$ と記載。	LIB:各0.95 NAS:各0.95 鉛:各0.95	0.0	1.0
	蓄電池	蓄電池本体の効率。以下、 $\eta_{BATT}$ と記載。	LIB:各0.95 NAS:各0.90 鉛:各0.85	0.0	1.0
	その他 (補機等)	充放電時における補機類の効率。蓄電池システムとは別系統の電源が供給される場合もあるが、本プログラムではPCSと直列に蓄電池の前に設置する機器として扱う。以下、 $\eta_{AUX}$ と記載。	LIB:1.0 NAS:1.0 鉛:1.0	0.0	1.0
	待機時	蓄電池待機時の自然放電(自己放電)や蓄電池の状態を保持する補機類などの効率。以下、 $\eta_{STANDBY}$ と記載。	LIB:1.0 NAS:0.86 鉛:1.0	0.0	1.0
熱損失係数		電力損失の熱損失への変換率。	1.0	0.0	1.0

表2 ピークシフト制御及びピークカット制御時の計算方法

	条件 (AND 条件)	電力 (蓄電池システムの入出力端ベース) [kW]	蓄電容量の変化分 $\Delta$ 蓄電容量[kWh]
放電	<ul style="list-style-type: none"> <li>放電許容時間帯</li> <li>蓄電容量 kWh <math>\geq</math> 放電下限容量 kWh</li> <li>放電電力を考慮した受電電力 kW <math>\geq 0</math></li> </ul>	放電電力[kW]を計算した後、蓄電容量[kWh]の変化分を求める	$\Delta$ 蓄電容量 = -放電電力/ $\eta_{\text{放電時}}$ * 単位時間 $\Delta$ 蓄電容量 = -放電電力/ $\eta_{\text{放電時}}$ * 単位時間
		放電電力 = $\text{Min}\{\text{定格放電電力}, \text{Min}(\text{ベース放電電力}, \text{定格放電電力} * \text{放電パターン}) + \alpha + \beta, (\text{蓄電容量} - \text{放電下限容量}) * \eta_{\text{放電時}} / \text{単位時間}\}$ $\alpha$ : ピークカット分 = 放電後受電電力 - ピークカット目標値 (>0 の場合に加算) $\beta$ : 使い切り分 = (放電後蓄電容量 - 放電下限容量) * $\eta_{\text{放電時}} / \text{時間}$ (対象時間帯のみ, >0 の場合であって受電電力を上限として加算)	
充電	<ul style="list-style-type: none"> <li>充電許容時間帯</li> <li>蓄電容量 kWh <math>\leq</math> 充電上限容量 kWh</li> </ul>	蓄電容量[kWh]の変化分 (充電容量) を計算した後、充電電力を求める	$\Delta$ 蓄電容量 = $\text{Min}\{\text{Min}(\text{定格放電電力}, \text{ピークカット目標値} - \text{受電電力}^*) * \eta_{\text{充電時}} * \text{単位時間}, \text{定格蓄電容量} / \text{充電時間率}, \text{蓄電容量} \text{ に対し 充電特性(図-5) から読み取る時間可能充電量}, \text{充電上限容量} - \text{蓄電容量}\}$ *1: 充電時ピークカット目標値有の場合考慮
		充電電力 = -単位時間当たり蓄電容量変化分/ $\eta_{\text{充電時}}$ $\Delta$ 蓄電容量 = $\text{Min}\{\text{Min}(\text{定格放電電力}, \text{ピークカット目標値} - \text{受電電力}^*) * \eta_{\text{充電時}} * \text{単位時間}, \text{定格蓄電容量} / \text{充電時間率}, \text{蓄電容量} \text{ に対し 充電特性(図-5) から読み取る時間可能充電量}, \text{充電上限容量} - \text{蓄電容量}\}$	
待機	充放電以外	蓄電容量[kWh]は変化しない。損失に相当する待機電力を求める	$\Delta$ 蓄電容量 = $\pm 0$
		待機電力 = -定格放電電力 * (1 - $\eta_{\text{待機時}}$ )	

表3 発電電力平準化 (一定値) 制御時の計算方法 (図-7 参照)

	条件 (AND 条件)	電力 (蓄電池システムの入出力端ベース) [kW]	蓄電容量の変化分 $\Delta$ 蓄電容量[kWh]
平準化制御時間内	<ul style="list-style-type: none"> <li>放電許容時間帯</li> <li>発電電力 kW <math>\leq</math> 目標値 kW</li> </ul>	放電電力[kW]を計算した後、蓄電容量[kWh]の変化分を求める	$\Delta$ 蓄電容量 = -放電電力/ $\eta_{\text{放電時}}$ * 単位時間 $\Delta$ 蓄電容量 = -放電電力/ $\eta_{\text{放電時}}$ * 単位時間
		放電電力 = $-\text{Min}\{\text{定格放電電力}, \text{目標値} - \text{発電電力}, (\text{蓄電容量} - \text{放電下限容量}) * \eta_{\text{放電時}} / \text{単位時間}\}$ $\Delta$ 受電電力 = -(発電電力 + 放電電力)	
平準化制御時間外	<ul style="list-style-type: none"> <li>商用充電許可時間帯外</li> <li>発電電力 kW &gt; 0</li> </ul>	蓄電容量[kWh]の変化分 (充電容量) を計算した後、充電電力を求める。	$\Delta$ 蓄電容量 = $\text{Min}\{\text{Min}(\text{定格放電電力}, \text{発電電力} - \text{目標値}) * \eta_{\text{充電時}} * \text{単位時間}, \text{定格蓄電容量} / \text{充電時間率}, \text{蓄電容量} \text{ に対し 充電特性(図-5) から読み取る時間可能充電量}, \text{充電上限容量} - \text{蓄電容量}\}$
		充電電力 = $-\text{Min}(\text{蓄電容量変化分} / \eta_{\text{充電時}})$ $\Delta$ 受電電力 = 0	
平準化制御時間外	<ul style="list-style-type: none"> <li>商用充電許可時間帯外</li> <li>発電電力 kW = 0</li> </ul>	損失に相当する蓄電容量が低減する。	$\Delta$ 蓄電容量 = -定格放電電力 * (1 - $\eta_{\text{待機時}})$ * 単位時間
		充電電力 = 0, $\Delta$ 受電電力 = 0	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>商用充電許可時間帯内</li> <li>蓄電容量 kWh &lt; 充電上限容量 kWh</li> </ul>	蓄電容量[kWh]の変化分 (充電容量) を計算した後、充電電力を求める。	$\Delta$ 蓄電容量 = $\text{Min}\{\text{Min}(\text{定格放電電力}, \text{Max}(\text{発電電力} * \eta_{\text{充電時}} * \text{単位時間}, \text{商用充電充足率} * \text{運用上の最大蓄電容量} - \text{蓄電容量})), \text{定格蓄電容量} / \text{充電時間率}, \text{蓄電容量} \text{ に対し 充電特性(図-5) から読み取る時間可能充電量}, \text{充電上限容量} - \text{蓄電容量}\}$
		充電電力 = $-\text{Min}(\text{蓄電容量変化分} / \eta_{\text{充電時}})$ $\Delta$ 受電電力 = $\text{Min}(\text{充電電力} - \text{発電電力}, 0)$	
<ul style="list-style-type: none"> <li>商用充電許可時間帯内</li> <li>蓄電容量 kWh = 充電上限容量 kWh</li> </ul>	蓄電容量[kWh]は変化しない。損失に相当する待機電力を求める。	$\Delta$ 蓄電容量 = $\pm 0$	
	$\Delta$ 受電電力 = 蓄電池システムの待機電力 = -定格放電電力 * (1 - $\eta_{\text{待機時}}$ )		